

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra Automatizační techniky a řízení**

**Diagnostika klimatizačních jednotek automobilů na  
simulačním pracovišti**

**Car Climate Units Diagnostics on Simulation Test Stand**

**Student:**

**René Tichavský**

**Vedoucí bakalářského projektu:**

**doc. Ing. Petr Kočí, Ph.D.**

**Ostrava 2011**

## Zadání bakalářské práce

Student: **René Tichavský**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **3902R001 Aplikovaná informatika a řízení**  
Téma: **Diagnostika klimatizačních jednotek automobilů na simulačním pracovišti**  
**Car Climate Units Diagnostics on Simulation Test Stand**

### Zásady pro vypracování:

1. Popište strukturu, funkční vlastnosti a umístění klimatizační jednotky osobního automobilu.
2. Charakterizujte sestavu testovacího pracoviště klimatizačních jednotek po stránce technické a přístrojového vybavení, včetně počítačové podpory. Vyberte veličiny pro měření funkčních vlastností klimatizace a jejich instrumentace.
3. Popište metodiku testovacích zkoušek klimatizační jednotky a jejich dílčích komponent při zpracování měřených veličin pro posouzení kvality a funkčnosti sestav.
4. Navrhněte a ověřte vybrané části testovacích zkoušek hlavních funkčních dílů a komponent klimatizační jednotky.
5. Zhodnoťte kriticky dosažené výsledky navrhněte další postup řešení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] PALENČÁR, R., VDOLEČEK, F. & HALAJ, M. *Nejistoty v měření I: vyjadřování nejistot*. AUTOMA. 7-8/2001, ročník VII, s. 50 - 54. ISSN 1210-9592.
- [2] SMUTNÝ, L. BABIUCH, M. *Teplovzdušný model TVM (klimatizační jednotka)*. Ostrava: VŠB-TUO, 2005. Výzkumná zpráva GAČR. 31 str.
- [3] BOK, J. KUBÁŇ, A. PEKSA, F. *Vakuová technika*. Skriptum SPŠE pomaturitního kurzu Rožnov pod Radhoštěm, 2005.
- [4] Commission Regulation (EC) No 706/2007 of 21 June 2007, pursuant to Directive 2006/40/EC

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Kočí, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23.5.2011

.....

### **Prohlášení studenta**

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezentačnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst.4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23.5.2011

.....

René Tichavský  
Myslbekova 34  
741 01 Nový Jičín

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

TICHAŮSKÝ, R. *Diagnostika klimatizačních jednotek automobilů na simulačním pracovišti: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2011, 59 s. Vedoucí práce: Kočí, P.

Bakalářská práce se zabývá diagnostikou vlastností klimatizačních komponentů či celých okruhů na simulačním pracovišti. V úvodní kapitole je popsáno umístění klimatizačního okruhu v automobilu a jeho dělení. Zde je zmíněna funkce IHX výměníku tepla, který je umisťován do chladicích systémů automobilů, jako nový prvek klimatizačních okruhů. Tento výměník a jeho funkční termodynamické vlastnosti budou předmětem bakalářské práce v praktické části. Ve druhé kapitole je představeno simulační zařízení, jeho přístrojové vybavení, výběr snímaných veličin, sběr dat a softwarová podpora. Je uveden kompletní seznam senzorů, včetně výrobního označení, měřicích rozsahů a chyb měření. Třetí kapitola popisuje metodiku testování celého systému (systémové testy) či pouze jednotlivých dílů (komponentní testy). Z těch je uvedeno měření tlakové ztráty a tepelného výkonu IHX výměníku, termické účinnosti. Tyto dva komponentní testy jsou zcela zásadní pro zjištění vlastností IHX výměníku, jehož zařazení do okruhu má pozitivní vliv na celkový chladicí výkon klimatizace. V praktické části je popsáno samotné měření IHX výměníku dvou různých designů a jejich srovnání z funkčního pohledu. Na závěr jsou zhodnoceny dosažené výsledky a navrženo zlepšení procesu snímání teplot.

## ANNOTATION OF THESIS

TICHAŮSKÝ, R. *Car Climate Units Diagnostics on Simulation Test Stand: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control System and Instrumentation, 2011, 59 p. Thesis head: Kočí, P.

The thesis analyses the characteristic of air-conditioning components and also the characteristic of the whole circuits at simulative facilities. The introduction describes the placement of air-conditioner circuits in the car and its divisions. This is described in detail in the following chapter where we also introduce function of internal heat exchanger (IHX) which started to be placed in the cooling systems of the cars as a new part of air-conditioning circuits. This internal heat exchanger and its functional thermodynamic characteristics are analysed in the practical part of the thesis. The second chapter depicts the simulative facility, its structure, sampling, data capture and software support. The complete list of scanners including production code, measuring scope and the defects is also included. The third chapter describes methodology of testing of the whole systems (systems testing) and also the testing of components (components testing). The results of pressure loss measuring, heat output of IHX and thermal effectiveness are presented. These two components testing are essential for the research of IHX whose characteristics have been found to have positive impact on the cooling performance in air-conditioner. In the practical part, the testing of two types of IHX is described and we also present the comparison from the functional point of view. In the conclusion, the results are evaluated and some improvements for measuring procedure are suggested.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

ZNAČKA	NÁZEV	JEDNOTKA
$\varepsilon_{chl}$ , COP	Chladicí faktor	[]
T	Teplota absolutní	[K]
p	Tlak	[Bar]
q	Měrné teplo	[kJ.kg <sup>-1</sup> ]
h	Entalpie	[kJ.kg <sup>-1</sup> ]
Q	Výkon	[W]
$\delta p$	Tlaková ztráta	[mbar]
v	Rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]
S	Teplosměnná plocha	[m <sup>2</sup> ]
$\eta_t$	Termická účinnost	[%]
c	Měrná tepelná konstanta	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
IHX	Internal Heat Exchanger, vnitřní výměník tepla	[N.m <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}$	Hmotnostní tok	[kg.h <sup>-1</sup> ]
HP strana	Vysokotlaká strana	-
LP strana	Nízkotlaká strana	-

## Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů

Obsah

Úvod .....	7
1 Klimatizační okruh automobilu .....	8
1.1 Umístění klimatizačního okruhu v automobilu .....	8
1.2 Princip klimatizace .....	9
1.3 Popis částí klimatizačního okruhu .....	13
2 Simulační pracoviště – Kompresorový stand .....	22
2.1 Zkušební komora .....	23
2.2 Elektrický rozvaděč .....	31
2.3 Pracoviště operátora.....	33
3 Metodika testování.....	35
3.1 Systémové testy .....	35
3.2 Komponentní testy .....	37
4 Ověření vlastností klimatizačních dílů měření .....	45
4.1 Příprava měření.....	45
4.2 Nastavení podmínek specifikace - měření.....	49
4.3 Vyhodnocení výsledků měření .....	51
5 Hodnocení dosažených výsledků.....	56
Seznam použité literatury	

## Úvod

V dnešní době všeobecné globalizace a vyhrocujícího se konkurenčního boje mezi výrobci, se stáváme svědky nalézání neobvyklých výrobních a technických řešení ve všech výrobních odvětvích. V oblasti automobilové klimatizační techniky se setkáváme se třemi základními směry, kterými se ubírají vývojové programy.

Prvním z nich je směr výrobních a materiálových úspor výrobku, popř. zjednodušování výrobních procesů. Bohužel poměrně často je tento směr vykoupen snížením kvality nebo technické vyspělosti výrobku. Příkladem takového procesu je použití unifikovaných spojovacích koncovek. Jsme svědky procesu, kdy jeden typ koncovky je průběžně zaveden do většiny typů automobilů spadajících pod jeden koncern. Dokonce je možné vidět spolupráci mezi jednotlivými koncerny a to nejen v oblasti vývoje klimatizačních okruhů. Příkladem spolupráce koncernu PSA a Fordu na vývoji motorů a s nimi souvisejících motorových součástí, pod které spadají také klimatizace automobilů.

Druhým příkladem směru vývojových programů, jsou projekty určené ke splnění legislativních požadavků. Tyto projekty jsou dnes jedním z mála, které udržují kvalitu a technické vyspělosti výrobků. Příkladem jsou legislativní požadavky na netěsnost klimatizačního vedení. Jedná se o nařízení Evropské komise zamezující použití klimatizačních systémů, jejichž netěsnost by přesahovala určený limit. Splnění tohoto požadavku donutilo výrobce k hledání materiálů a typů koncovek s velmi nízkými přirozenými úniky chladiva.

Třetím směrem vývojových programů je získání konkurenční výhody u zákazníka a zajištění si tak lepší vyjednávací pozice zejména o ceně výrobku. Popisem podpory takového vývojového programu se zabývá tato bakalářská práce. Příkladem, který bude popsán hlouběji, je použití tzv. interního výměníku tepla IHX (protiproudý výměník tepla) v systému klimatizace. Tímto jednoduchým řešením bylo dosaženo poměrně významného zvýšení účinnosti systému vedoucím k úspoře energie automobilu, tj. spotřeby vozu. V tomto případě byl výrobce nucen vyvinout nejprve nové metody, kterými by bylo možné porovnávat jednotlivé konstrukční změny interního výměníku a posuzovat tak jejich vliv na celkový chod systému. K tomuto účelu byl postupně vytvořen měřicí systém schopný nezávislé regulace nejen na vstupní straně klimatizačního kruhu (simulace chodu vozidla), ale také regulace na výstupní straně, tj. simulace podmínek v kabině vozidla. Samozřejmostí je ovlivnění dalších parametrů, jako jsou například otáčky kompresoru (simulace běhu motoru) a naklopení kompresorové desky vedoucí k lepší kontrole dodávaného množství chladiva do systému. Jedná se o složitý systém, jehož zajištění a samotný chod je finančně velmi náročný.

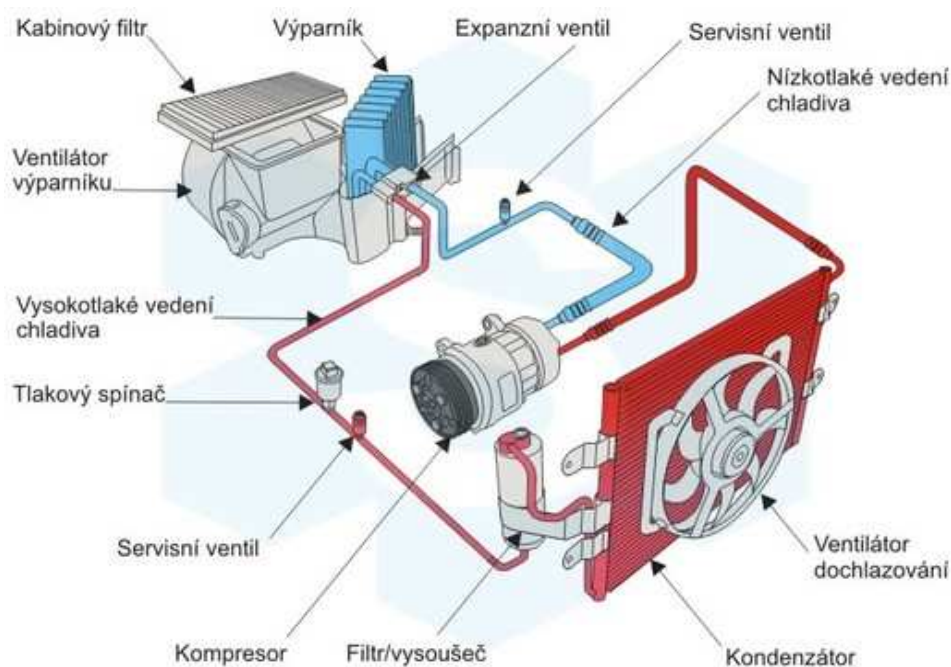


# 1 Klimatizační okruh automobilu

V poslední době je samozřejmostí, že osobní automobily jsou pro větší komfort cestujících vybaveny klimatizací. V této kapitole je popsáno umístění, typy klimatizací a popis jednotlivých funkčních částí okruhu.

## 1.1 Umístění klimatizačního okruhu v automobilu

Samotný klimatizační okruh je obvykle umístěn v přední části automobilu a je rozdělen na tzv. motorovou a kabinovou část Obr. 1 .



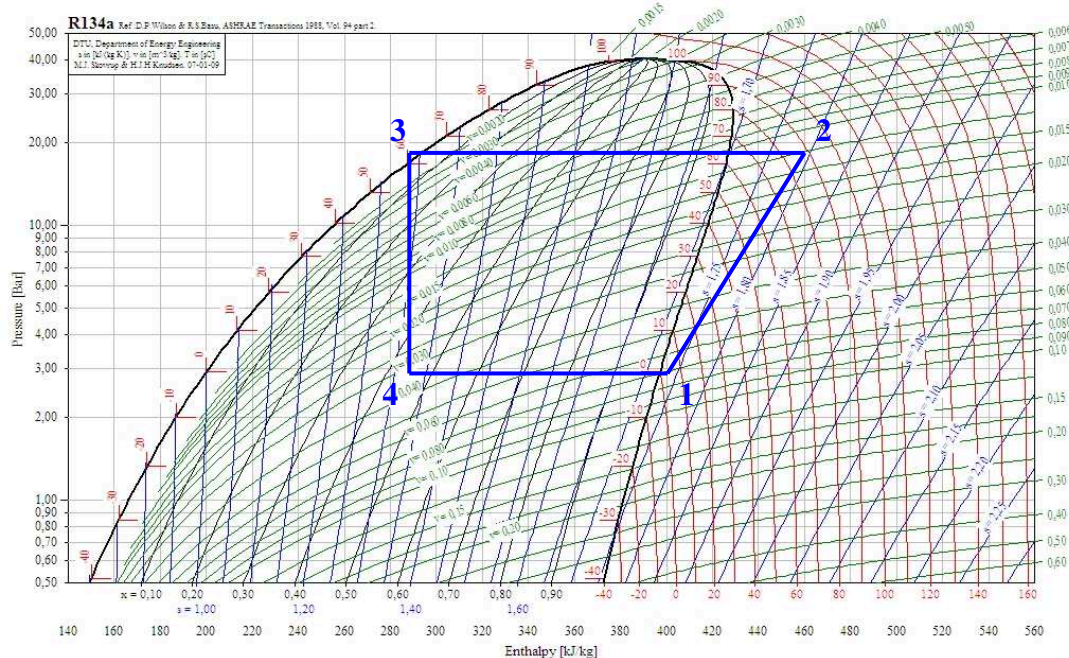
Obr. 1 Schéma klimatizačního okruhu s TXV ventilem [Klimatizace v autoservisní praxi 2005]

V motorové části je umístěna většina komponentů tvořících systém. Pokud začneme s popisem od přední části automobilu, narazíme hned za čelní maskou na chladicí modul. Chladicí modul se skládá z elektronicky řízeného ventilátoru, kondenzátoru a chladiče motoru. Hned za touto sestavou je umístěn motor a na něm je připevněno srdce klimatizačního okruhu, kompresor, na který je přenášena hnací síla motoru řemenem. Dále je v motorové části umístěna nádoba na kapalinu s vysoušečem nebo akumulátor, záleží na typu chladicího systému, jímž je automobil vybaven. K vyhodnocování a řízení provozu okruhu jsou na vysokotlakém a nízkotlakém vedení umístěny snímače tlaku. Jako posledním prvkem umístěným na hranici mezi motorovou a kabinovou částí je škrtkový ventil tzv. orifice trubička nebo v případě použití filtru/vysoušeče TXV ventil.

V kabinové části je umístěna poslední zbývající část okruhu a tou je výparník. Ten tvoří spolu s topením automobilu sestavu, která se nazývá HVAC. Ten uvnitř, mimo jiné, obsahuje ventilátor a propracovaný systém elektronicky řízených klapek pro rozvod vzduchu proudícího do kabiny. Výstupní hodnota teplotního senzoru, snímající teplotu vzduchu vystupujícího z výparníku, ovlivňuje spolu s měřeními tlaky ve vedení klimatizace její chod. HVAC se ukrývá přímo za palubní deskou automobilu. Jednotlivé komponenty jsou mezi sebou propojeny potrubím. Průměry trubek jsou voleny podle toho, zda slouží pro přenos chladiva v nízkotlaké, vysokotlaké nebo výtlačné větvi. Pro nízkotlakou větev se volí trubky o průměru v rozpětí od 5/8“ do 3/4“, vysokotlakou větev 3/8“ až 10mm a pro výtlačnou větev většinou 1/2“. Základním výrobním materiálem komponentů je hliník.

## 1.2 Princip klimatizace

Klimatizační systémy se zásadně nezměnili. V současnosti se chladicí okruhy rozdělují na okruhy s škrťacím ventilem a TXV ventilem. Chladicí médium během cyklu projde několika termomechanickými změnami. Kompresí, kondenzací, expanzí a vypařováním. Princip klimatizace je názorně popsán v termodynamickém p-h diagramu Obr. 2 . Jeho výhodou je možnost odečtení různých veličin.



Obr. 2 P-h diagram chladiva R134a, okruh s TXV ventilem – ideální stav

Výhodou p-h diagramu je možnost odečtení velikosti různých veličin a tím zjištění vlastností (skupenství) chladicího média v daných bodech chladicího procesu klimatizačního

okruhu. Hlavní osy  $x$  a logaritmická osa  $y$  udávají hodnotu entalpie [kJ/kg] a tlaku [bar]. Teplota [°C] je zobrazena červeným rastrem, dále diagram udává míru entropie.

### **Popis cyklu v p-h diagramu**

#### **1-2 Komprese**

Zvyšování teploty chladiva v plynném stavu pomocí zmenšování jeho objemu. Během komprese zvyšuje chladicí médium svou teplotu a tlak.

#### **2-3 Kondenzace**

Děj, při kterém se mění skupenství látky z plynného na kapalné. Tlak média zůstává konstantní, snižuje se teplota.

#### **3-4 Expanze**

Zvětšování objemu plynu, rozpínání plynu. Prudký pokles tlaku a teploty chladiva.

#### **4-1 Vypařování**

Děj, při kterém se mění skupenství látky z plynného na kapalné. Tlak média je konstantní, podle nastavení systému se nepatrně zvyšuje teplota chladicího média.

### **Klimatizační okruh se škrtícím ventilem**

Cyklus začíná v kompresoru, do kterého vstupuje chladné médium v plynném stavu, v závorce jsou na obecném příkladu uvedeny orientační teploty a tlaky (2,5bar a teplota 0 až 5°C). Kompresor stlačí plyn a tím rapidně zvýší jeho teplotu a tlak (tlak 19bar, teplota od 90 až 100°C). Ten vstupuje do kondenzátoru, kde je ochlazován za pomoci elektronicky řízených ventilátorů nebo samovolně za jízdy proudícím chladnějším vzduchem. V ochlazovacích trubičkách kondenzátoru chladivo předává do okolí své teplo tím a kondenzuje. Z kondenzátoru vychází v kapalném stavu, za vysokého tlaku a vyšší teploty (tlak 18bar, teplota cca 60°C). Teplo odevzdané chladivem v kondenzátoru do okolí se poté využívá pro chlazení motoru [Waeco 2005].

Zkondenzované médium vstupuje do škrtícího ventilu, který vstřikuje přesné množství chladiva do výparníku. Ihned za škrtícím ventilem dojde k expanzi a tudíž k rychlému poklesu tlaku a teploty chladiva (z tlaku 18bar na 3,0bar z teploty 62°C na teplotu 2°C). Za těchto podmínek vstupuje do výparníku v podobě chladné směsi kapaliny a plynu. Teplý vzduch z kabiny tuto směs otepluje a tím zplynuje. Na lamely výparníku se teplý vzduch z kabiny vhná pomocí ventilátoru. Zde dochází k jeho ochlazení. Vlhkost obsažená v teplém vzduchu kondenzuje na lamelách výparníku a stéká do skříně výparníku, odkud je výpustí odvedena ven z automobilu.

Protože škrticí ventil má kalibrovaný otvor, který nelze průběžně dle potřeby chlazení měnit popř. uzavřít, nelze zaručit, že všechny chladicí prostředek vystupující z výparníku je v plynném stavu (tlak 3bary, teplota 5°C). Tento plynný stav je pro sání zásadní. Pokud by kompresor nasál chladivo v kapalném stavu, došlo by k vážnému poškození kompresoru. Aby se této situaci předešlo, proto se ještě před kompresor zařazuje další prvek a tím je akumulátor. Ten slouží jako zásobárna přebytečného chladiva a oleje, potřebného pro mazání kompresoru. Z akumulátoru už kompresor nasává pouze médium v plynné fázi a olej potřebný k mazání kompresoru. Pro kompresory pracujících s chladivem R134a se používají oleje typu PAG (poly-alkylen-glykol), které jsou s chladivem mísitelné. Koncentrace oleje v okruhu se pohybuje od 3% do 5%.

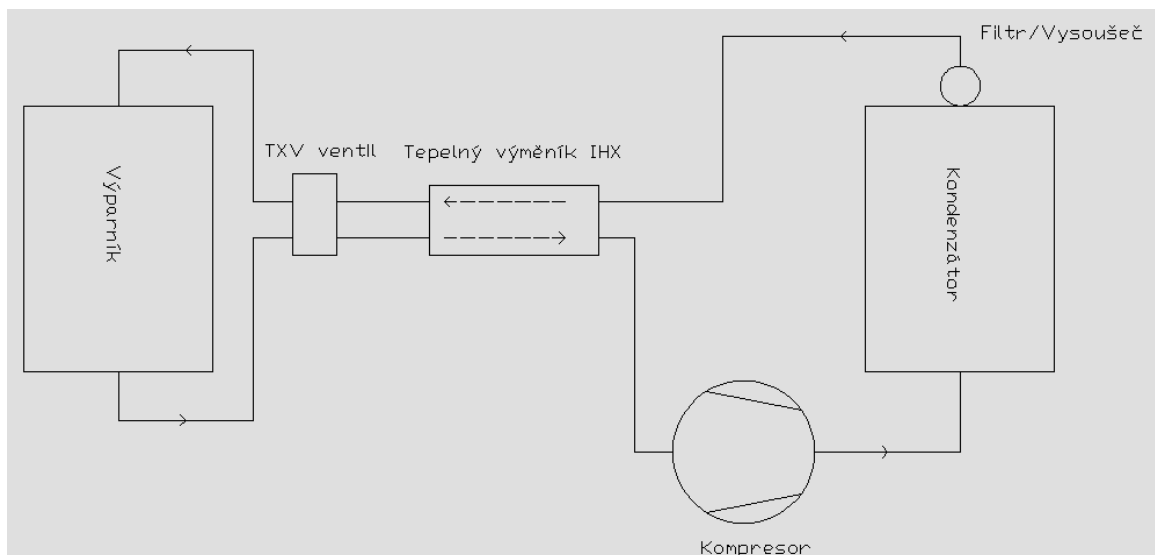
### **Klimatizační okruh s TXV ventilem**

Tento typ je mezi výrobci klimatizační techniky automobilů stále více oblíbenější a dá se říct, že vytlačuje ze své pozice okruh se škrtícím ventilem.

Princip je velmi podobný jako u předešlého typu. Cyklus obsahuje kompresi, kondenzaci. Ihned za kondenzátorem je umístěn tzv. filtr/vysoušeč. Ten slouží, jako zásobárna chladiva v kapalně formě, filtr pro zadržení případných nečistot a vysoušeč. Chladivo v kapalném stavu poté vstupuje do tzv. TXV ventilu. Ten je narozdíl od škrticí klapky schopen plynule regulovat v závislosti na výstupní teplotě chladiva z výparníku množství média vstříknutého do výparníku. Tam dochází k adiabatické expanzi a poklesu tlaku a teploty prostředku. Médium odebírá teplo ze vzduchu přiváděného z kabiny a tím se ohřívá. Každý TXV ventil je nastaven na určitý vypařovací tlak a teplotu, tyto hodnoty jsou větší než je saturační teplota chladiva při daném vypařovacím tlaku. Tím se dosáhne toho, že dokud se vstříknuté množství chladiva neohřeje na teplotu vyšší než je ta saturační, ventil další chladivo do výparníku nevstříkne. V tomto případě z výparníku odchází chladicí prostředek pouze v plynné fázi a je přímo nasáván kompresorem.

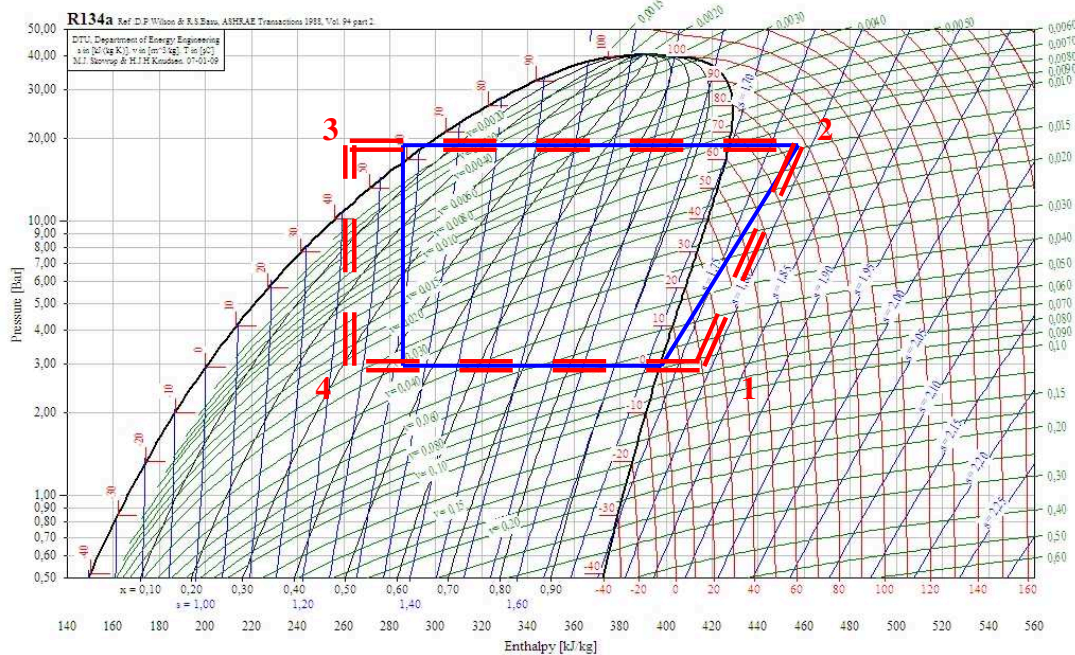
### **Klimatizační okruh s TXV ventilem a interním výměníkem tepla IHX**

Novinkou v oblasti klimatizační techniky je zařazení dalšího výměníku tepla. Kromě kondenzátoru a výparníku se jeví jako výhodné použití interního výměníku tepla, koaxiální trubky, která pracuje jako protiproudý výměník tepla Obr. 3 . Zařazením tohoto prvku se zvyšuje účinnost chlazení až o 15%, a tím snížení spotřeby paliva automobilu v případech, kdy je používána klimatizace automobilu.



Obr. 3 Schéma okruhu s TXV ventilem a IHX výměníkem

Principem IHX výměníku je větší ochlazení teplého média vycházejícího v kapalném stavu z kondenzátoru chladným médiem vycházejícím z výparníku. To vše, při zachování kondenzačního tlaku. Tím se získá vyšší entalpie na vstupu do TXV ventilu a tím i vyšší míra energie, která je schopna pojmout větší teplo, přiváděné do výparníku z kabinové části. Chladné médium vychází z výparníku a chladná plynná směs se ohřívá v IHX výměníku, vlivem teplého média vysokotlaké části výměníku. Tím se zvyšuje entalpie plynného média na vstupu do kompresoru. To vede ke snížení potřebného příkonu kompresoru.



Obr. 4 P-h diagram chladiva R134a, okruh s TXV ventilem(modrá barva) a IHX výměníkem(červená) – ideální stav



Již pouze grafickým zobrazením v p-h diagramu, lze vidět, že zařazením výměníku do okruhu je získána větší míra energie při stejných vstupních podmínkách, kondenzačním a vypařovacím tlaku a teplot na výstupech z kondenzátoru a výparníku.

### 1.3 Popis částí klimatizačního okruhu

Tato kapitola se zabývá popisem všech funkčních částí klimatizačního okruhu včetně chladiwa a ohlédnutí do historie za jeho vývojem.

#### Chladicí médium

Parametry, které se zohledňují pro výběr chladiwa jsou: objemová chladivost, rozsah tlaků s ohledem na provozní teploty, chování k mazacím olejům, konstrukčním materiálům, hořlavost, chemická stabilita, fyziologické působení atd. V posledních letech se klade velký zájem na to, aby médium bylo co nejvíce šetrnější k životnímu prostředí.

Ohlédnutí do historie:

1834 – první praktické chlazení kompresorové chladicí zařízení, ether

1866 – dioxid uhličitý CO<sub>2</sub>

1873 – čpavek

1926 – první halogenový uhlovodík R12 (CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>)

1987 – Montrealský protokol

1990 – Londýnská dodatek, ochrana ozónové vrstvy, požadavek na vyloučení skupin halogenových uhlovodíků typu CFC - chlorfluorcarbon (R11, R12, R114) a HCFC – hydrochlorfluorcarbon (R22, R123)

současnost – používají se jednoduché halogenové uhlovodíky nebo jejich směsi typu HFC – hydrofluorcarbon (R134a, R407c, R410a). Současné předpisy EU omezují používání dnešního chladiwa R134 takto:

2011 – končí používání uvedeného chladiwa v nově schvalovaných typech automobilů. Automobily schválené do provozu pře tímto datem smějí používat stávající chladiwo nejdéle do roku 2017. Nově rýsující se náhrada za současné chladiwo se jeví opět používání chladiwa R744 (CO<sub>2</sub>) a nebo R1234yf. [Nařízení komise (ES) 2007]

Použití chladiwa R1234yf je mnohem pravděpodobnější než R744, i když na vývoji chladičného okruhu s použitím R744 se pracovalo celosvětově několik let a byly do něho vloženy nemalé finanční prostředky.

***Porovnání vlastností používaných chladiv******Chladivo R1234yf***

Klady: nízké provozní tlaky (do 25bar), použití současných komponent bez dalších úprav

Zápory: za určitých podmínek výbušné, při stejných podmínkách nižší účinnost o cca 10% než R134a, větší škodlivost na životní prostředí než R744

***Chladivo R744***

Klady: žádný vliv na životní prostředí, lepší účinnost

Zápory: finanční a časová náročnost vývoje, vysoké pracovní tlaky až 140bar

***Vlastností chladiva R134a***

R134a je chemická sloučenina tetrafluoretan ( $\text{CH}_2\text{-CF}_3$ ) bez chloru. V plynném skupenství je neviditelný, v kapalném bezbarvý jako voda.

**Kompresor**

Kompresor tvoří významnou část klimatizačního systému. Jeho úlohou je nasávat chladný prostředek v plynném stavu, stlačováním ho zahřívat a zvyšovat jeho tlak a teplotu. Tímto ho lze považovat jako rozhraní mezi nízkotlakou a vysokotlakou částí okruhu.

Obecně se kompresor skládá z řemenice, elektromagnetické spojky, hřídele a těla, ve kterém je umístěna mechanika.

Kompresory používané v chladicí technice se dělí podle principu do dvou skupin. První skupinou jsou objemové kompresory, kdy ke stlačení dochází změnou objemu nasátého prostředku, a tou druhou jsou kompresory odstředivé, kde je efekt stlačování založen na principu odstředivé síly [Waeco 2005]. V klimatizačních okruzích jasně dominují objemové kompresory. Podle principu dělíme tyto kompresory na zdvihové (pístové) a rotační.

**Objemové kompresory - zdvihové*****Kompresory s klikovou hřídelí***

Zpravidla se skládají ze dvou válců v řadě s jedním dvoumembránovým ventilem, který na základě tlaku na membrány chladicí prostředek střídavě nasává a stlačuje.

***Kompresory s kývavým kotoučem***

Tyto kompresory mohou mít pevný nebo proměnlivý zdvihový objem. Proměnný objem snižuje počet zapínání a vypínání elektromagnetické spojky kompresoru a tím se eliminují spínací rázy, které jsou nežádoucí. Kompresory s proměnlivým zdvihovým objemem se vyznačují plynulou regulací sacího tlaku, která je zajištěna tlakovým regulačním ventilem. Ten registruje tlak na sací straně a reguluje množství nasátého chladiva změnou úhlu sešikmení kývavého kotouče.



Obr. 5 Kompresor s kývavým kotoučem a plynulou regulací sacího tlaku

Na Obr. 5 je zobrazen kompresor s kývavým kotoučem Sanden SD7C16, označení 16 znamená vnitřní obsah 160ccm a číslo 7, že se jedná o kompresor se sedmi pístky. Kompresor se skládá z následujících hlavních dílů. Spojka (1) se působením elektromagnetu (3) spojí s řemenicí (2), která je poháněna řemenem motoru automobilu. Tato síla je přenášena rotačním pohybem na hřídel kývavého kotouče (8) s pístky. Ten je umístěn v těle kompresoru, ve kterém jsou vyrobeny sací komůrky a je spojen těsněním (6) s hlavou kompresoru (7). Nasáté chladné plynné médium z vnější části hlavy do komůrek těla kompresoru, je pístky v komůrkách stlačováno. To je pak tlačeno do střední části kompresorové hlavy a vychází výtlakovým otvorem ven z kompresoru. Kompresorová hlava většinou obsahuje i vnitřní regulaci kompresoru.

### **Objemové kompresory - rotační**

Pracují velmi podobně jako Wankelův motor s krouživými/rotačními písty. Skládají se z rotoru, který vypadá jako buben a uvnitř jsou vysouvací lopatky. Vyznačuje se vysokou účinností.



### Spirálové kompresory

Tyto kompresory se skládají ze dvou spirál umístěných ve válcové skříni Obr. 6 . Jedna je pevně namontována, druhá leží v první. Takhle vytvářejí dvě srpovité kompresní komory. Ty se oscilací spirály buď zvětšují nebo zmenšují a tak zvětšují tlak a teplotu chladiva.

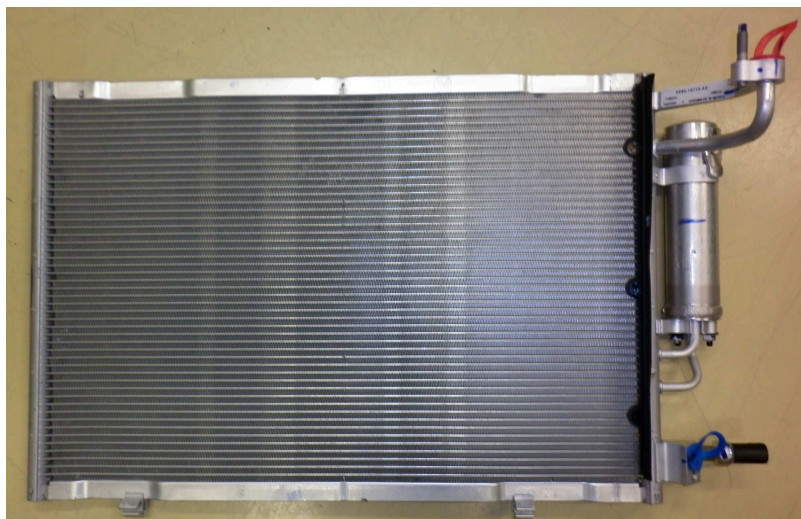


Obr. 6 Schéma spirálového kompresoru s fázemi komprese [MARK cit. 2011-01-02]

Každý kompresor je nutno mazat. Jako vhodný mazací prostředek se ukázal v kombinaci s chladivem R134a syntetický olej PAG ( Poly-Alkylen-Glykol). Má dobré mazací vlastnosti, mísitelnost s chladicím prostředkem, neobsahuje žádné kyseliny a je silně hygroskopický (pohlcuje vodu). Musí se tedy chránit proti vniknutí vlhkosti.

### Kondenzátor

Horký a plynný chladicí prostředek z kompresoru vstupuje do horní části kondenzátoru. Ten se prouděním okolního vzduchu ochlazuje a tím při průchodu kondenzátorem na jeho výstupu kondenzuje. Kondenzátor Obr. 7 je vlastně ohýbaná trubka, která je obklopena hustou sítí plochých lamel. Chladicí plocha zajišťuje dobrý přestup tepla [Waeco 2005]. Důležitým znakem kondenzátoru je tepelný výkon. Ten závisí na řadě faktorů:



Obr. 7 Kondenzátor s integrovaným filtrem/vysoušečem a tlakovým spínačem

- Konstrukce kondenzátoru (tvar, rozměry, hustota a tvar žebrování, průměr trubky)
- Teplota okolí
- Vlastnosti vzduchu proudícího kondenzátorem (teplota, vlhkost)
- Čistota kondenzátoru

Jako podpora náporového chlazení vzduchem je montován před každý kondenzátor elektronicky řízený ventilátor, jenž zvyšuje, či snižuje svou rychlost otáčení podle potřeby chladit [Waeco 2005].

### **Filtr / Vysoušeč**

Používá se pouze v okruzích se TXV ventilem. Slouží jako zásobárna tekutého chladiva, zadržuje vlhkost, filtruje nečistoty a odstraňuje vzduchové bubliny akumulací chladicího prostředku. V současnosti je trendem integrovat vysoušeč do kondenzátoru.

### **TXV ventil**

Expanzní ventil Obr. 8 ovládá průtok chladiva do výparníku v závislosti na teplotě a tlaku. Chladivo přichází z filtru/vysoušeče přes spodní otvor expanzního ventilu a je vstřikováno do výparníku v přesně odměřeném množství. Odměřování chladiva je prováděno ventilem který je uváděn v činnost kapalným chladivem zachyceným v membránové hlavě expanzního ventilu. Plynné chladivo přicházející z výparníku proudí volně přes horní otvor expanzního ventilu do kompresoru. Kapalně chladivo přichází z filtru/vysoušeče a proudí na vstup expanzního ventilu. Odsud proudí přes kuličkový ventil a je atomizováno. Dále chladivo

proudí na výstup expanzního ventilu a dále do výparníku. Otevírání kuličkového ventilu je ovládáno teplotou a tlakem plynného chladiva vystupujícího z výparníku.



Obr. 8 TXV ventil

Pokud teplota plynného chladiva přicházejícího z výparníku v horní části expanzního ventilu stoupá, kapalně chladivo uzavřené v membránové hlavě je také zahříváno přes senzor teploty a stoupá. Chladivo expanduje a nutí kuličku v sedle ventilu k pohybu směrem dolů pomocí membrány a šoupátka ventilu, takže se sedlo ventilu otevře. Toto zvyšuje průtok chladiva do výparníku, výparník se zchladí a teplota plynného chladiva vycházejícího z výparníku se dále sníží. Kuličkový ventil se opět zavře jakmile se teplota ve výparníku sníží a chladivo v membránové hlavě se ochladí [Waeco 2005].

### Škrticí ventil/tryska

Expanzní tryska Obr. 9 s konstantním průřezem odměřuje množství chladiva procházející výparníkem. Také odděluje vysokotlakou stranu systému od nízkotlaké. Tekuté chladivo proudí z kondenzátoru při vysokém tlaku na vstup trysky. Dva O-kroužky zabráňují proudění chladiva okolo trysky. Dva filtry na vstupu a na výstupu trysky čistí chladivo od nečistot. Filtr na výstupu má také za úkol rovnoměrněji atomizovat chladivo [Waeco 2005].

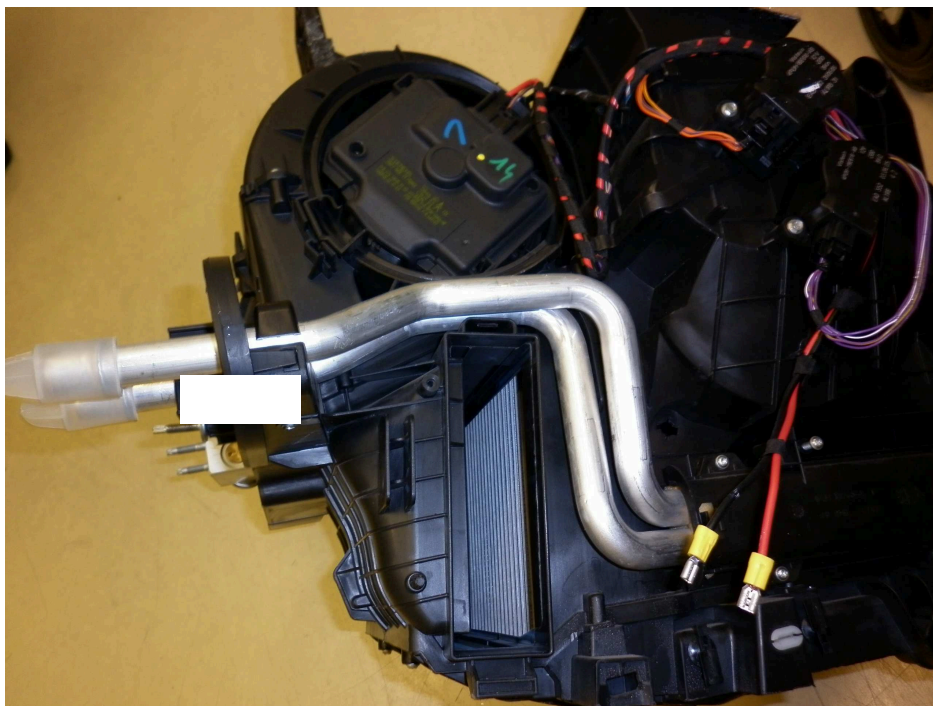


Obr. 9 Škrťací tryska

Kalibrovaný vnitřní průměr trysky dovoluje projít pouze množství chladiva korespondující s tlakem. Toto omezuje množství chladiva procházející do výparníku. Vnitřní průměr trysky se různí model od modelu a také podle požadovaného chladicího výkonu klimatizačního okruhu.

### Výparník

Výparník chladí, suší a čistí vzduch interiéru vozu. Chladivo odměřené expanzním ventilem nebo expanzní tryskou s konstantním průřezem je vstřikováváno do výparníku Obr. 10 Jakmile se chladivo dostane do chladících svazků výparníku, vypařuje se díky poklesu tlaku a tento proces odnímá teplo z chladících svazků a celého výparníku [Waeco 2005].



Obr. 10 HVAC s výparníkem uvnitř, TXV ventilem a tepelným výměníkem (Ford Mondeo 2008)

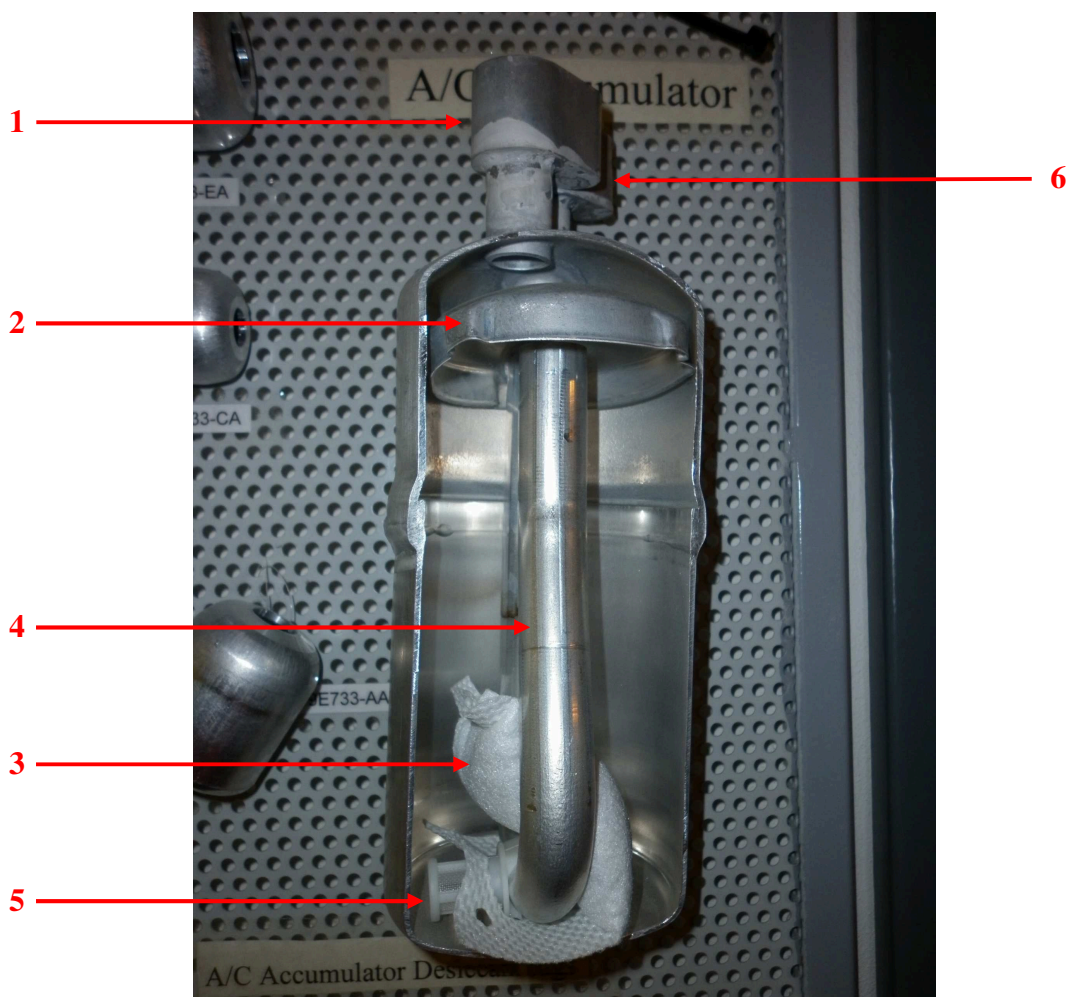
Vzduch procházející přes vlnovce výparníku je chlazen, sušen a dopravován do interiéru vozu větrákem topení a klimatizace. Vlhkost ze vzduchu kondenzuje na vlnovcích výparníku.



Kondenzát je odváděn odvodňovacími drážkami. Prach a další nečistoty přichycené k výparníku jsou tímto smývány z povrchu výparníku. Tímto se vzduch čistí a suší.

### Akumulátor

Akumulátor Obr. 11 filtruje chladivo a odstraňuje z něj vlhkost. Dále chrání kompresor před nasátím kapalného chladiva. Rovněž slouží jako zásobník chladiva. Plynné chladivo prochází z výparníku na vstup akumulátoru (1).



Obr. 11 Řez akumulátorem

Chladivo proudí okolo víka,reflektoru (2), přičemž vytváří vír. Sušící element (3) ve spodní části akumulátoru na sebe váže vlhkost absorbovanou chladivem. Plynné chladivo se shromažďuje pod víkem, odkud proudí přes J-trubici (4) s filtrem (5) na výstup akumulátoru (6). Za filtrem se v J-trubici nachází malý otvor. Olej uložený na dně akumulátoru je extrahován přes tento otvor a míšen s plynným chladivem v poměru 3-5% oleje a 95-97% plynu. Toto zaručuje adekvátní mazání pohybujících se částí kompresoru.

## Vedení systému

K výrobě vedení klimatizačních okruhů s chladivem R134a se používá hliníkových trubek a pryžových hadic. Hliníkové trubky se vyznačují snadným zpracováním, dobrými materiálovými vlastnostmi a nízkou cenou. Hadice jsou relativně drahé a při konstruování sestav se jejich používání minimalizuje. Hlavním důvodem používání hadic v sestavách je tlumení šíření vibrací systémem a tím prodloužení životnosti sestav. Podle funkčního umístění se využívají následující trubky s uvedenými vnějšími průměry Tab. 1 . Síla stěn trubek je většinou 1,5 nebo 1,25mm.

Tab. 1      Soupis používaných trubek

Nízkotlaká větev	Vysokotlaká větev	Výtlačná větev
3/4" - 5/8"	3/8"	1/2"

## Tlakové spínače

Tlakové spínače jsou voleny podle typu chladicího okruhu. Nízkotlaký spínač se používá, aby kompresor nepracoval, když je tlak chladicího prostředku příliš nízký. Takto je řízen provoz kompresoru u systémů se škrticím ventilem/tryskou. Vysokotlaký spínač Obr. 12 se používá proto, aby kompresor nepracoval, když je tlak chladicího prostředku příliš vysoký. Těmito spínači se řídí provoz kompresoru u systémů s TXV ventilem.



Obr. 12    Vysokotlaký spínač

## 2 Simulační pracoviště – Kompresorový stand

Vlastnosti klimatizačních komponentů jsou neustále testovány, ověřovány jak během svého vývoje, tak již po zavedení do výrobního procesu. Mezi nejdůležitější fyzikální vlastnosti klimatizačních komponent patří pevnostní odolnost vůči vibracím, tahu, tlaku, dále korozní resistivita, úniky chladicího média použitými materiály, ve spojích a dále tzv. funkční vlastnosti navržené klimatizační sestavy. Tou důležitou funkční vlastností je tlaková ztráta komponentů, která má přímý na vliv výkon celého klimatizačního okruhu a tím i na spotřebu automobilu. V případě zařazení IHX výměníku do okruhu je jeho důležitou vlastností tepelný výkon, jenž se podílí na zvýšení účinnosti celého systému. Vzhledem k jeho nepoměrně vyšším výrobním nákladům výměníku je tento test nezbytný, potvrzující tak opodstatněné zařazení do okruhu a tím zvýšení chladicího výkonu a zároveň snížení spotřeby pohonných hmot automobilu. Tyto výše zmiňované testy se provádějí na zařízení nazývané *Kompresorový stand*.

Zařízení kompresorový stand Obr. 13 obsahuje tři základní části, zkušební komoru, elektrický rozvaděč a pracoviště operátora.



Obr. 13 Celkový pohled na pracoviště kompresor stand

Ve zkušební komoře je umístěn elektromotor, snímače veličin, separátor oleje, kondenzátorová a výparníková vzduchová trať s topením. Rozvodová skříň obsahuje silové elektrické obvody, řídicí obvody a regulátory, napájecí zdroje ventilátorů a snímačů, sběr dat a ovládací panel. Pracoviště operátora je vybaveno stolním počítačem s potřebným softwarem pro správu, vizualizaci a vyhodnocení dat a zobrazovací jednotkou snímače koncentrace oleje „Anton Paar“. Podrobný popis jednotlivých částí a instrumentalizace kompresorového standu je uveden níže.

## **2.1 Zkušební komora**

Zkušební se skládá z přístrojového vybavení a snímačů veličin. Podrobný popis dílů je popsán níže.

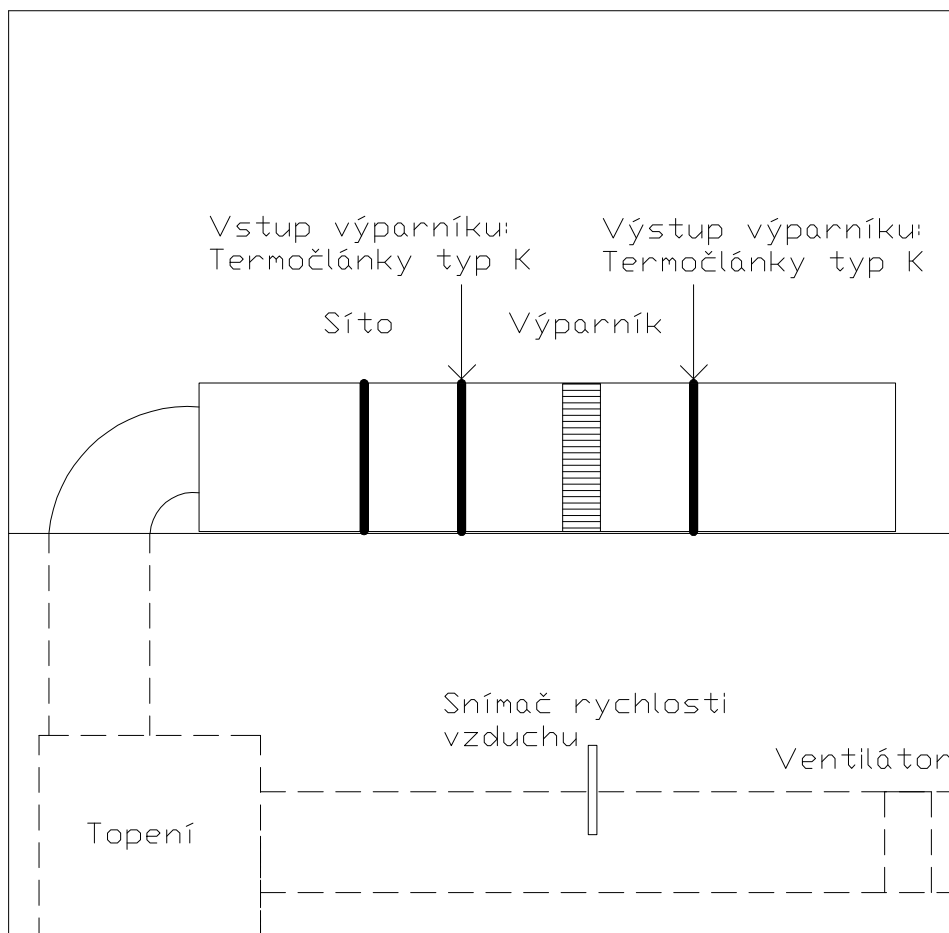
### **2.1.1 Přístrojové vybavení**

#### **Vzduchová trať**

Jak již bylo zmíněno, ve zkušební komoře je umístěna vzduchová trať s topením pro výparník a kondenzátor. Trať pro výparník má průměr 200mm, délku 4000mm. Topení o výkonu 12kW je umístěno uprostřed tratě vzduch je vháněn do výparníku integrovaným ventilátorem v HVAC jednotce. Průměr kondenzátorové tratě je 350mm a délka je 2000mm. Vzduch je do kondenzátoru nasáván jedním, či dvěma ventilátory, podle typu chladícího modulu. Všechny tři ventilátory jsou nezávisle napájeny zdrojem napětí Delta Elektronik SM 35-45. V každé trati jsou umístěny informativní snímače rychlosti proudění vzduchu od firmy Siemens. Tato hodnota je použita pro výpočet objemového průtoku vzduchu.

Původní konstrukce tratí nebyla vybavena snímači rychlosti vzduchu, až nároky zákazníků, či vývojových týmů Visteonu na přesnost měření a získání co nejvíce přesných údajů měření, vznikl požadavek zařízení neustále zlepšovat a doplňovat potřebnými snímači, technickými úpravami, rozšiřováním softwarové podpory. V současné době se pracuje na tom, aby byl do spodní části trati umístěn nezávislý axiální ventilátor s objemovým průtokem 600m<sup>3</sup>/h. Pro sestavení okruhu by tudíž nebyla potřeba používat ne příliš praktickou HVAC jednotku, ale výparník by mohl být umístěn do speciální tratě, kde by mohla být snímána teplota vzduchu vstupujícího do výparníku i z něj Obr. 14 .



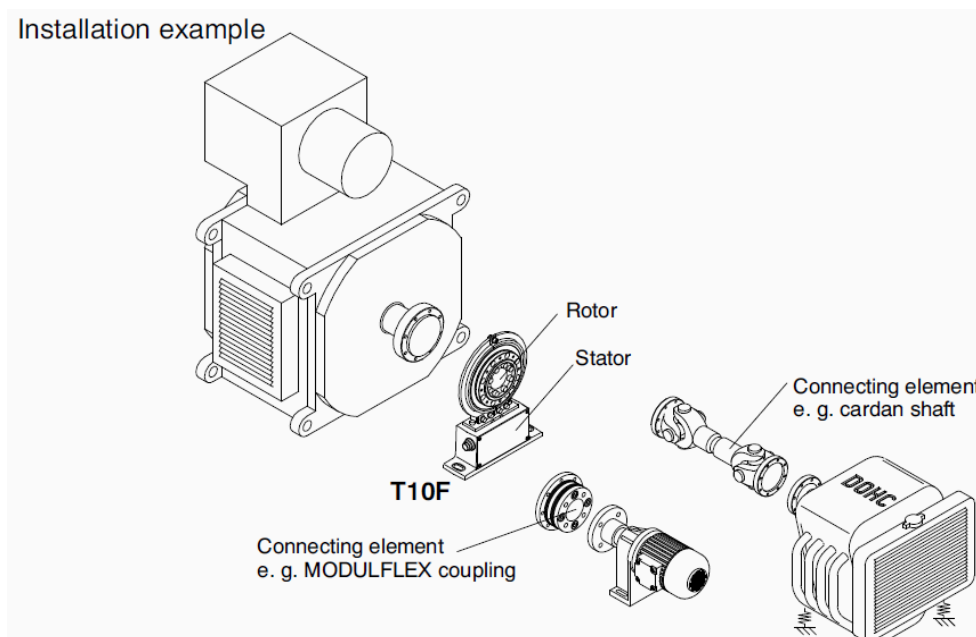


Obr. 14 Schématický náčrt návrhu nové vzduchové tratě pro výparník

Tím by se získal další důležitý údaj pro vyhodnocení funkce klimatizačního okruhu a tím je chladicí výkon výparníku.

### **Elektromotor**

Elektromotor s příkonem 19,5kW je připevněn na zvedacím stole ve spodní části zkušební komory. Motorem lze hydraulickým zvedákem stolu manipulovat v rozmezí  $\pm 300\text{mm}$ . Nosnost stolu je 500kg [9]. Na jeho hřídeli je upevněn snímač kroutícího momentu HBM T10F Obr. 15 . V tomto případě je na rotoru snímače namontována řemenice, která přes řemen pohání kompresor klimatizačního okruhu.



Obr. 15 Zapojení snímače otáček a kroutícího momentu HBM – T10F [HBM 1999]

Snímač je samostatně napájen zdrojem napětí HBM MP07, doporučený výrobcem, z rozvodové skříně. Výstupním signálem snímače je frekvence v rozsahu  $10\text{kHz} \pm 5\text{kHz}$  a napětí  $\pm 10\text{V}$ . V rozvaděči je umístěn převodník HBM MP60, který tyto hodnoty převede na výstupní signál  $4\text{--}20\text{mA}$  a ten je pak veden do zařízení pro sběr dat Fluke 2680A.

### Separátor oleje

Pro některá měření, jako např. ověření vlivu koncentrace oleje na tlakové ztráty komponentu s porovnáním s CFD analýzami a výpočty, se používá separátor oleje. V tomto zařízení je použit separátor od firmy Temprite 923, o objemu 2,3litrů, hustotou filtru 3mikrony, úspěšnost separace oleje od chladiva R134a je 98,5%.

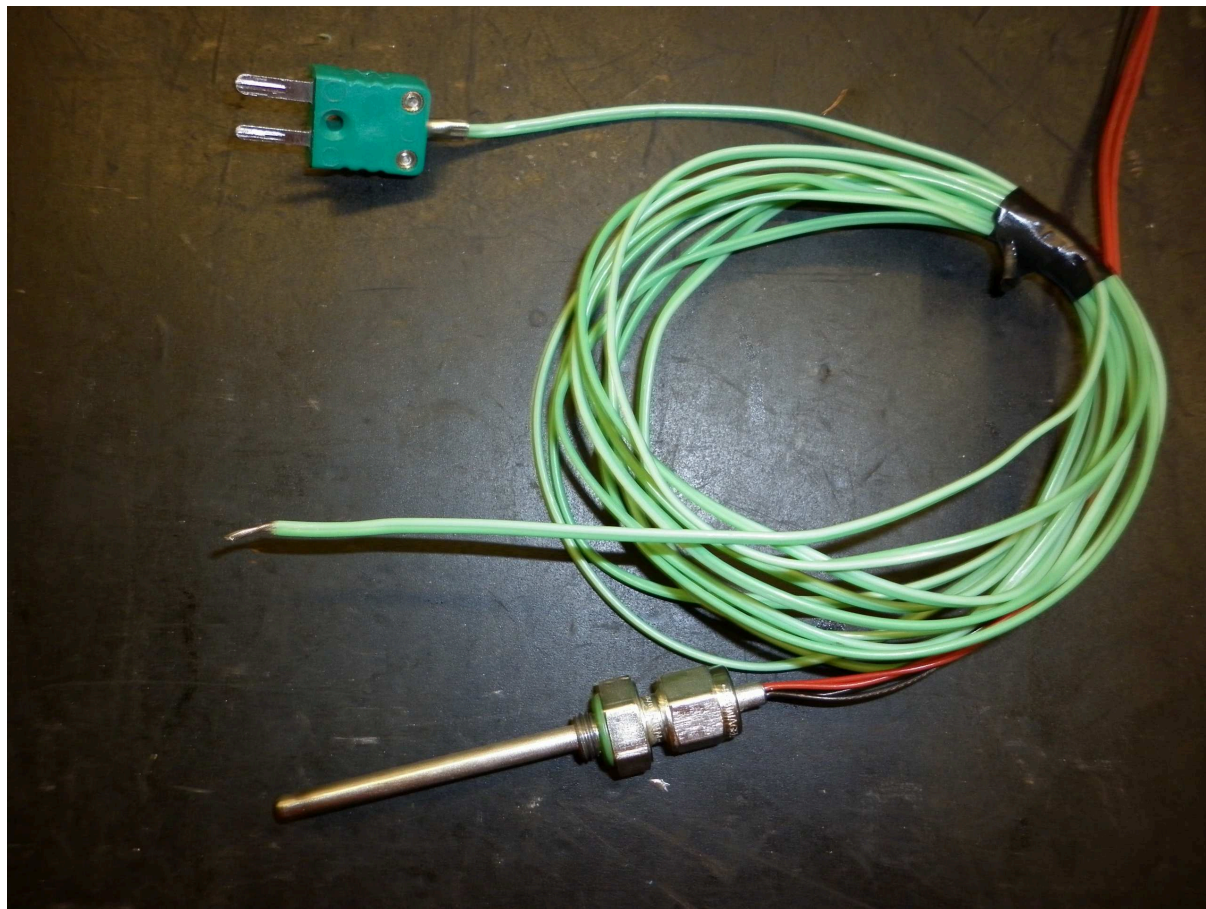
### 2.1.2 Snímače veličin

Vyhodnocování vlastností klimatizačních komponentů vychází z měření fyzikálních veličin média proudícího chladícím systémem, či kompresoru. Tyto jsou snímány snímači, které jsou umístěny ve zkušební komoře. Těmi nejdůležitějšími jsou teplota  $[\text{°C}]$ , absolutní tlak  $[\text{bar}]$ , diferenční tlak  $[\text{mbar}]$ , hmotnostní průtok  $[\text{kg/h}]$ , otáčky kompresoru  $[\text{1/min}]$ , kroutící moment  $[\text{Nm}]$  a také koncentrace oleje v médiu  $[\%]$ . Snímače jsou napájeny zdroji napětí z rozvaděče.

#### Teplota

Rozsah měřených teplot při zjišťování vlastností komponentů je  $-15\text{°C}$  až  $+125\text{°C}$ , tato hodnota je daná maximální dovolenou teplotou chladiva při stlačování kompresorem. Při delším chodu kompresoru nad tuto teplotu hrozí poškození kompresoru. Pro snímání povrchové teploty komponentů se využívají termočlánky typu K společně s vícekanálovým

termoboxem od firmy Weiss a pro snímání teploty chladiva přímo uvnitř trubek se využívají odporové snímače teploty PT100 ve čtyřvodičovém zapojení.



Obr. 16 Teplotní snímače – PT100 se šroubením pro měření teploty uvnitř trubky a termočlánek typu K pro snímání povrchové teploty

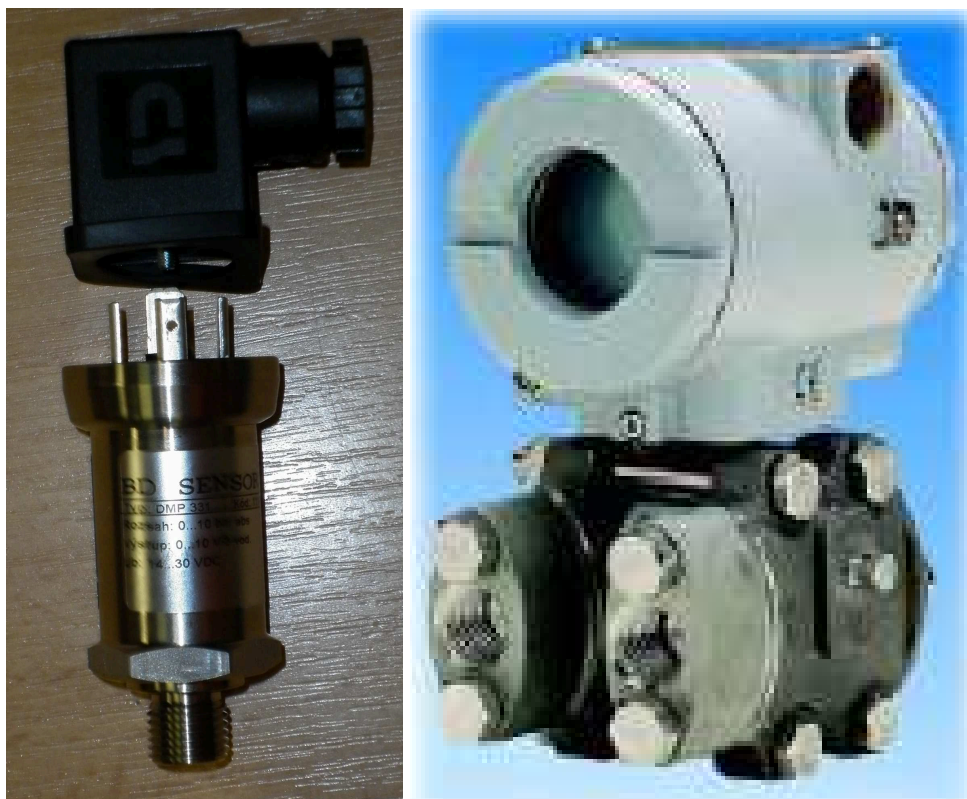
Obecně se termočlánek skládá ze dvou vodičů různých materiálů spojených k sobě na jednom konci. Tento spoj se nazývá měrný a slouží ke snímání teploty, v závislosti na teplotě indikuje měrný spoj napětí v mV, to se přenáší přes termobox a kompenzační vedení do zařízení pro sběr dat. Podle typu použitých materiálů se termočláanky dělí na J, K, B, R, S, L, U. Termočláanky lze využívat v širokém pásmu teplot od  $-200^{\circ}\text{C}$  až do  $1000^{\circ}\text{C}$  a více. Jeho předností je rychlá odezva, odolnost vůči vibracím, dlouhá životnost.

Měření teploty odporový snímačem PT100 je založeno na závislosti elektrického odporu na teplotě. Konstrukčně odporový snímač pracuje na principu platinové cívky navinuté na vhodný keramický materiál nebo sklo. K dosažení co nejmenších rozměrů, se používají místo drátů tenké vrstvy platiny, nanesené na keramický podklad. Snímač je umístěn v ochranném pouzdře. Využívají se čtyřvodičové typy PT100, jelikož je toto zapojení nejpřesnější, měření není ovlivněno odporem připojovacího vodiče či teplotou okolí. Vyznačují se vysokou přesností, odolností vůči vibracím a dlouhou životností.

## Tlak

Při testování na kompresor standu pracuje chladicí okruh v běžných provozních podmínkách, tomu odpovídá i rozmezí snímaných tlaků. Na nízkotlaké větve okruhů jsou připojovány absolutní snímače tlaku 0-10bar, na vysokotlaké a výtlačné větve se umísťují absolutní snímače s rozsahem 0-40bar. Toto rozdělení je dáno požadavky na přesnost snímání tlaků, kdy např. při měření tlakových ztrát nízkotlaké větve je požadováno, aby vstupní tlak do testovaného komponentu byl  $3 \pm 0,03 \text{ bar}$ . Použitím snímače o rozsahu 0-40bar se standardní chybou snímače 0,25%FS je chyba 0,1bar, což je pro zákazníka neakceptovatelné. Použitím snímačů s nižšími rozsahy na nízkotlaké větve je tento negativní vliv na měření potlačen. Absolutní tlak je snímán kvůli snadnému odečtu hodnot podchlazení a přehřátí chladicího média z tabulky vlastností platných pro chladivo R134a.

Pro snímání statického absolutního tlaku se používají piezoresistivní snímače tlaku. Měřícím členem piezoresistivních snímačů je mechanicky namáhaná destička z vysokoodporového křemíku, na níž jsou vytvořeny vodivé „cestičky“. Tato destička je připájena na nosnou destičku ze skla, která je nalepena na kovovou podložku ze speciální slitiny se shodnou tepelnou roztažností. Působením silového účinku  $F$  tlaku  $p$ , vzniká deformace  $\epsilon$  pružného členu, ta se projeví změnou odporu a výsledkem je výstupní elektrický signál snímače.

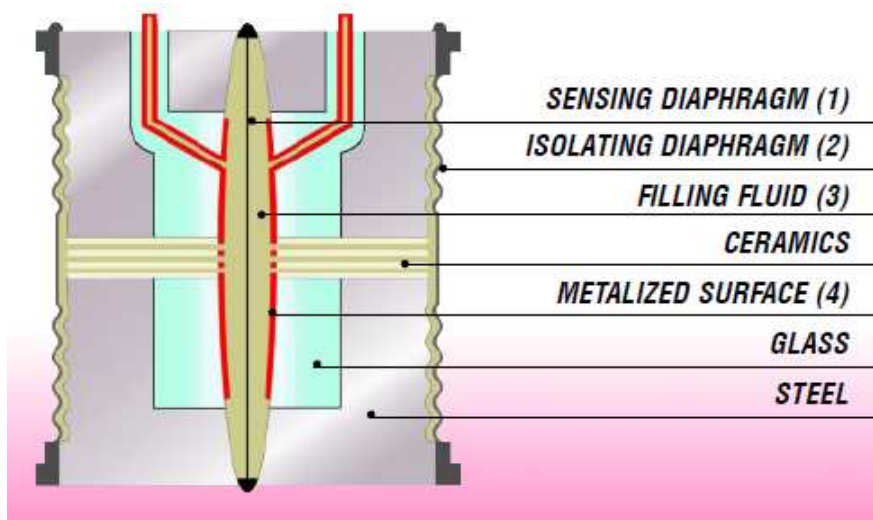


Obr. 17 Snímač absolutního tlaku BD Sensors DMP 331 a snímač diferenčního tlaku Smar LD301 [Smar]



V kompresorovém standu se využívají dva druhy výstupních signálů tlakových snímačů 4-20mA, dvou vodičové zapojení, nebo 0-10V u třívodičového zapojení. Signál je veden stíněným vodičem do zařízení pro sběr dat Fluke 2680A, signál 4-20mA je převáděn na napětí přesným odporem  $125\Omega$  na vstupních svorkách měřicí karty, signál 0-10V je přiváděn přímo.

Princip snímání diferenčního tlaku je zobrazen níže Obr. 18. Snímací membrána (1) je umístěna ve středu snímacího elementu. Tato membrána se vychyluje v důsledku působení difference mezi tlaky přivedených na pravou a levou stranu snímače.



Obr. 18 Náčrten principu snímání diferenčního tlaku snímačem Smar-LD301 [Smar]

Tyto tlaky jsou přímo přivedeny na izolační membránu snímače (2), která izoluje snímač a zvyšuje odolnost vůči koroznímu působení procesního média. Tlak je převáděn na snímací membránu kapalnou náplní (3). Snímací membrána se chová jako pohyblivá kapacitní destička a dva plátky s metalizovaným povrchem jsou pevné. Vychýlení snímací membrány způsobuje změnu kapacity mezi ní a pevnými plátky. Elektronický obvod snímá změnu kapacity a generuje výstupní signál 4-20mA. Ten je převáděn na napětí přesným odporem  $125\Omega$  na vstupních svorkách měřicí karty.

### Snímání otáček kompresoru

K tomuto účelu je použitý optoelektrický snímač otáček a čítač od firmy Di-Soric, povrch snímací části senzoru je rozdělen na dvě poloviny. Jedna část funguje jako zdroj světla, druhá část pracuje jako snímač a snímá vysílaný paprsek světla odrazem od řemenice kompresoru, na němž je na černém pozadí nakreslen bílý znak, který otáčením řemenice přerušuje světelný tok a tím udává frekvenci, počet otáček kompresoru. Signál zpracuje snímač.

### Koncentrace oleje

Množství oleje v klimatizačním okruhu je velmi důležitý parametr, který významně ovlivňuje tlakovou ztrátu komponentů a v případě tepelných výměníků (kondenzátor,

výparník, IHX) i přenos tepla. V provozních podmínkách se množství oleje v okruhu pohybuje kolem 2 – 5%. Koncentrace oleje se snímá nepřímou. Celé zařízení se skládá ze snímače rychlosti zvuku a teploty Anton Paar SPRn a vyhodnocovací jednotky Anton Paar mPDS a snímačem absolutního tlaku.



Obr. 19 Zařízení na snímání koncentrace oleje Anton Paar SPRn – snímač a převodník s elektronikou

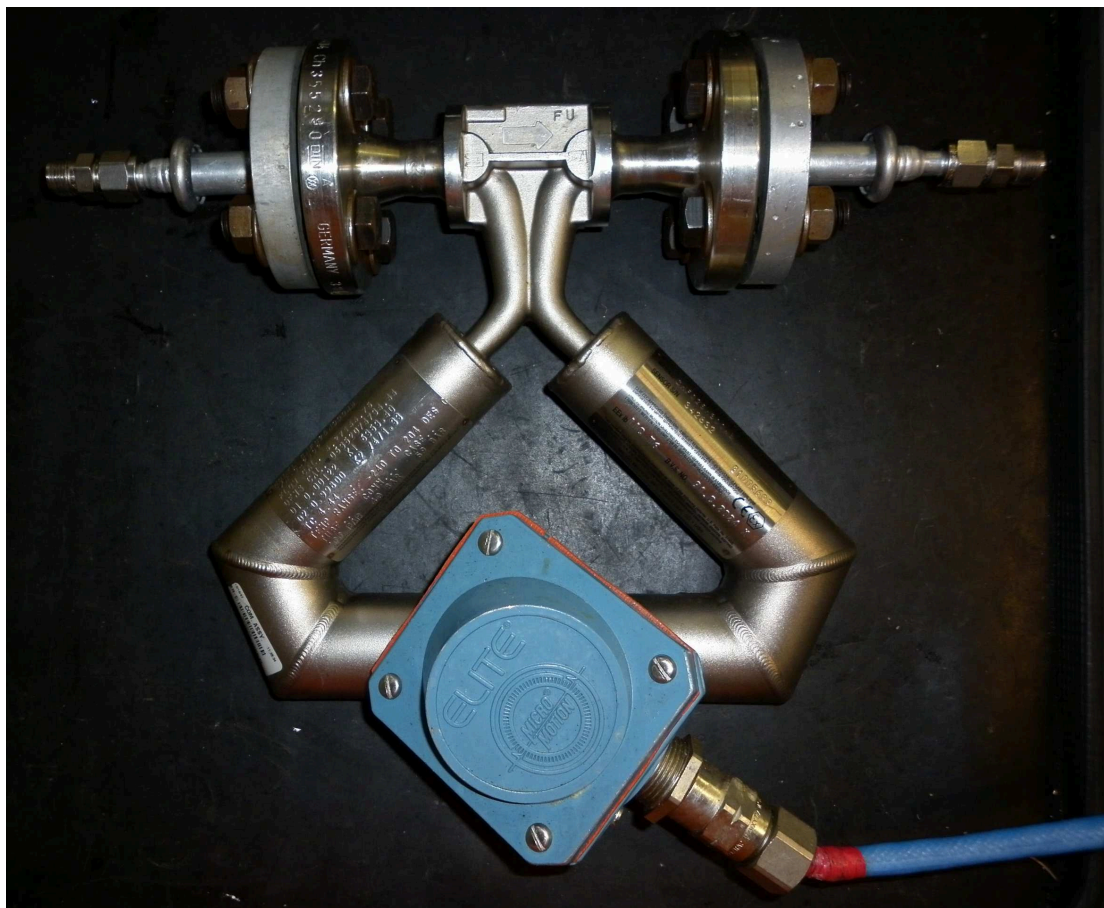
Princip určení koncentrace oleje je následující. Rychlost zvuku je definována jako podíl vzdálenosti a času, který zvukový impuls potřebuje k průchodu této vzdálenosti. Ultrazvukové impulsy generované piezo-elektrickým vysílačem procházejí do přijímače. Čas šíření ultrazvukového pulsu je měřen a převáděn na periodický signál. Perioda kmitání je čas šíření vynásoben 256-ti [Anton Paar 2006]. Teplota a perioda kmitání jsou vedeny do vyhodnocovací jednotky a spolu s hodnotou absolutního tlaku jsou tyto hodnoty dosazeny do polynomického členu (2.1) pro výpočet koncentrace oleje.

$$x_{oil} = a_0 + a_1 \cdot v_{sound} + a_2 \cdot v_{sound}^2 + a_3 \cdot t_{liquid} + a_4 \cdot t_{liquid}^2 + a_5 \cdot p_{liquid} + a_6 \cdot p_{liquid}^2 + a_7 \cdot t_{liquid} \cdot v_{sound} + a_8 \cdot p_{liquid} \cdot v_{sound} + a_9 \cdot t_{liquid} \quad (2.1)$$

Koeficienty  $a_0$  až  $a_9$  jsou definovány výrobcem, ty jsou jedinečné a platné pouze pro danou směs dvou látek. Označení  $p_{liquid}$  a  $t_{liquid}$  je tlak, teplota média v kapalném stavu na vysokotlaké straně. Označení  $v_{sound}$  je rychlost zvuku ve směsi. V tomto případě je výpočet aplikován na určení koncentrace PAG oleje a chladiva R134a [Anton Paar 2006].

### Hmotnostní průtok

Vlastnosti komponentů, tlaková ztráta, tepelný výkon, jsou přímo závislé na hmotnostním průtoku chladiva. Proto je důležité hmotnostní průtok přesně a spolehlivě snímat při každém měření. K tomuto účelu je použit hmotnostní průtokoměr CMF 025 od firmy MicroMotion. Zařízení se vyznačuje spolehlivostí a přesností. Je jím možno snímat médium v kapalném i plynném stavu. Pro použití ve kompresorovém standu se využívá měření průtoku kapalného média.



Obr. 20 Hmotnostní průtokoměr Micromotion CMF 025

Coriolisův průtokoměr je přístroj na měření hmotnostního průtoku kapaliny trubicí a její hustoty. Princip přístroje je založený na rezonančním kmitání trubice, kterou kapalina protéká. Vibrace poskytují rotující soustavu, ve které se projevuje Coriolisův efekt.

### Relativní vlhkost

Snímače relativní vlhkosti jsou u tohoto zařízení používány pouze jako informativní. Kapacitními snímači relativní vlhkosti se měří relativní vlhkost vzduchu vstupujícího do výparníku a v testovací komoře. Podrobný přehled a stručná technická specifikace je uvedena v tabulce Tab. 2 .

Tab. 2 Celkový přehled snímačů

Obecné			
Rozměry V x Š x H	2,4m x 2,3m x 2,4m		
Příkon elektromotoru	19,5kW		
Topení výparníku	12kW		
Elektromotor	NUM, AMS132ME1R22CR0		
Technické vybavení - snímače, převodníky			
Veličina	Výrobce, typ	Pracovní rozsah, přesnost	Počet
Separátor oleje	Temprite, 923 series	3 mikrony; 98,5% úspěšnost	1ks
Kroutící moment, otáčky	HBM, TF 10	0 - 200Nm, ±1%as	1ks
Rychlost vzduchu	Siemens	0 - 15m/s, ±1%fs	2ks
Otáčky kompresoru	Di-soric, WRB 130 S-M4-2,5	0 - 10000, ±1%rdg	1ks
Teplota	Rawet, PT100	-25 °C - +125 °C, ±0,25 °C	8ks
Teplota	Termobox Weiss, termočlánek typ K	-25 °C - +125 °C, ±0,25 °C	48ks
Absolutní tlak	BD Sensor, DMP 331	0 - 40bar, ±0,25%fs	4ks
Absolutní tlak	Jumo, 4362	0 - 40bar, ±0,25%fs	4ks
Absolutní tlak	Jumo, 4362	0 - 10bar, ±0,25%fs	1ks
Diferenční tlak	BD Sensor - Smar, LD301	0-700mbar, ±0,1%fs	1ks
Diferenční tlak	BD Sensor - Smar, LD301	0-500mbar, ±0,1%fs	1ks
Diferenční tlak	BD Sensor - Smar, LD301	0-150mbar, ±0,075%fs	1ks
Diferenční tlak	Omega, PX771A	0-1750mbar, ±0,25%fs	1ks
Relativní vlhkost	Vaisala, S45	0 - 100%r.v., ±2%r.v.	2ks
Hmotnostní průtok	Micromotion, CMF 025	0 - 1450kg/h, ±1%rdg	1ks
Koncentrace oleje	Anton Paar, SPRn 4214 LS G 3/4"	0 - 100%, ±0,5%fs	1ks

Elektrický signál snímačů je veden, z pravidla, stíněným kabelem do zařízení pro snímání a sběr dat Fluke 2680A umístěném v rozvaděči.

## 2.2 Elektrický rozvaděč

Elektrický rozvaděč je vybaven silovými elektrickými obvody pro napájení elektromotoru a topení, regulátory teploty, otáček a dalšími řídicími obvody.

### Zdroje napětí

Pro napájení ventilátorů kondenzátoru a výparníku se používají špičkové zdroje napětí od firmy Delta elektronik. Vzhledem k tomu, že odběr stejnosměrného proudu ventilátorů, při stejnosměrném napětí 13V je i přes 18A, byly vybrány typy SM 35-45. Zdroj pracuje v rozmezí stejnosměrného napětí 0-35V a proudu 0-45A. Pro napájení všech snímačů se používá zdroj stejnosměrného napětí 2x24V.

### Řídící jednotka Stange SE-406

Výrobek firmy Stange s typovým označením SE-404-06 se používá pro řízení celého zařízení kompresorový stand. Obsahuje regulátory, řídicí obvody, komunikaci mezi



operátorem. Zařízení se mimo jiné stará o řízení počtu otáček kompresoru, regulaci teploty vzduchu přiváděného do výparníku, ovládání velikosti napětí kondenzátorových ventilátorů. Ovládání je prováděno přes dotykový ovladač přímo na rozvaděči, nebo softwarem ECS Stange nainstalovaným na počítači z pracoviště operátora.

### Sběr dat Fluke 2680A

Sběr dat je realizován prostřednictvím dataloggeru Fluke 2680A. Vyznačuje se vysokou přesností a flexibilitou v rychle se měnících průmyslových aplikacích. Vlastnosti:

- samostatně 20 – 120 univerzálních analogových vstupů, v systémech až 2000 kanálů
- síť LAN 10BaseT/100BaseT
- dva typy universálních vstupních modulů PAI (chyba 0,02%) pro precizní nebo FAI (chyba 0,04%) pro rychlé snímání dat
- výtečná přesnost (0,1°C) měření teploty termočlánky (J, K, R, S, T, N, I, U, C, B)
- univerzálnost vstupů pro jakýkoliv vstupní signál na jakémkoliv kanále ( V dc, V ac, Ohmy, frekvence, RTD, termočlánek, termistor)
- 60 Computed channels, na takovémto kanálu je možno definovat výpočet z ostatních analogových vstupů
- perioda snímání dat od 0,1s
- výstupní formát dat je v \*.csv formátu, lehce zpracovatelný např. MS Excel

Datalogger je spojen sítí s řídicím počítačem, kterým lze pomocí software Fluke DAQ definovat vlastnosti vstupů [Fluke cit. 2010-12-11].

Tab. 3 Kompresor stand – rozvaděč

Obecné		
Rozměry V x Š x H	2,0m x 1,8m x 0,6m	
Hodnoty připojení na síť	48kW	
Elektrické připojení	400V / 3Ph + N + PE / 50Hz	
Váha	440kg	
Odvod tepla do prostoru	4kW	
Technické vybavení		
Název	Výrobce, typ	Popis
Řídicí systém, regulátory	Stange, SE-404-06	řízení otáček kompresoru, tlaku, topení 120 analog. vstupů, 60 computed channels
Sběr dat	Fluke, 2680A	
Elektrické zdroje napětí	Delta electronic, SM 35-45	napájení ventilátorů, 0-35V/0-30A
Elektrické zdroje napětí	Delta electronic	napájení snímačů

## 2.3 Pracoviště operátora

Jak již bylo zmíněno, pracoviště operátora se skládá ze stolního počítače a zobrazovací jednotky Anton Paar, která dává okamžitou informaci operátoru o hladině koncentrace oleje, teplotě a absolutního tlaku v testovaném okruhu.

Stolní počítač je, kromě klasického operačního systému Microsoft Windows XP a balíčkem Microsoft Office 2003, vybaven softwarovými aplikacemi pro řízení, vizualizaci procesu ovládání a sběru dat.

### **Řídící proces – Ovládání**

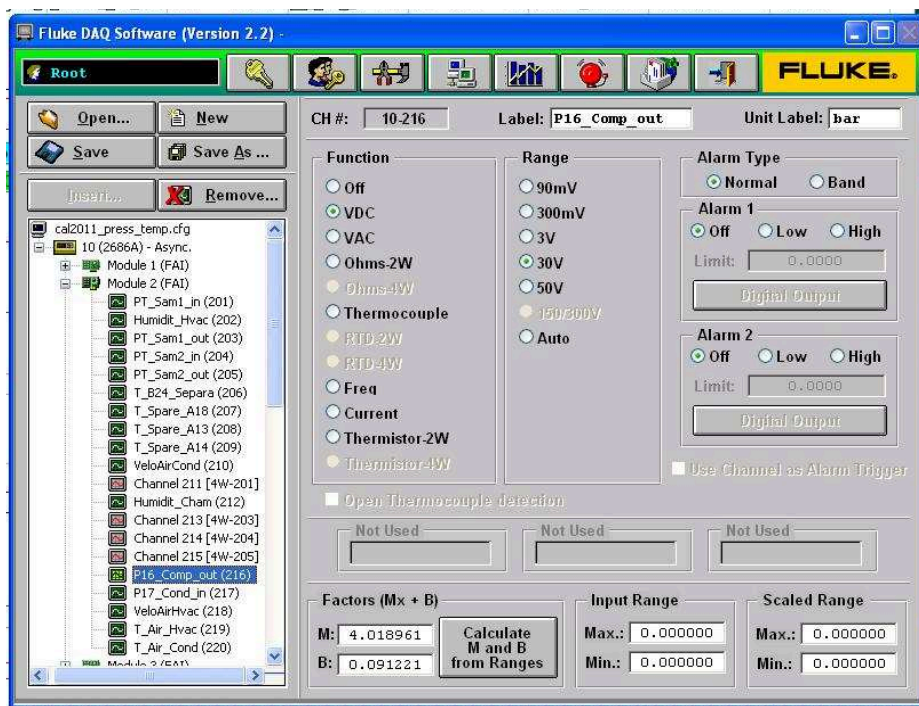
Softwarová aplikace ECS 2000 umožňuje řízení kompresorového standu, vizualizaci řízení, sběr dat (není využíváno), programování testovacích profilů.

### **Správa sběru dat**

Počítačový program Fluke DAQ zajišťuje správu sítě sběru dat a stolním počítačem, v jeho prostředí lze konfigurovat analogové, I/O a „computed“ vstupy, síťové připojení, v aplikaci lze využít i zobrazování dat v čase (pouze pro deset vstupů), export dat do .csv formátu. Poslední dvě zmíněné aplikace nejsou využívány, jelikož export a vizualizace dat se děje pomocí software Fluke Trendlink.

### **Fluke DAQ software**

Tento software poskytuje grafické uživatelské rozhraní dataloggerů řady Fluke 2680A, síťovou konfiguraci a nastavení snímacích karet, nahrávání/úpravu nastavení snímacích karet, posílat příkazy a sbírat data z analogových nebo DIO modulů, monitorovat snímací karty, jejich hodnoty, alarmy v průběhu měření, vykreslovat grafy, kompletovat historické záznamy a získávat tak data z historie měření, převod datových souborů do .csv formátu [Fluke cit. 2010-12-11]. Zaznamenávat a ukládat načtená data na PC kartu (PCMCIA ATA formát), která je součástí dataloggeru.



Obr. 21 Fluke DAQ – konfigurační okno vstupů

### Fluke DAQ Trendlink

Vizualizace sběru dat je velice užitečným nástrojem. Nejenom lze touto aplikací zobrazovat snímané data v reálném čase, ale lze vyvolat z historie záznam z kteréhokoliv dne, měsíce, roku nazpět. Software dovoluje definovat zobrazení pouze požadovaných vstupů z dataloggeru, avšak přenos dat exportuje všechny definované vstupy dataloggeru.

### Fluidcal

Tento software se používá pro výpočet tabulkových hodnot termodynamických vlastností různých látek, mezi nimi i chladiva R134a. Pracuje jako doplněk v programu MS Excel. Patřičným zadáním proměnných lze jednoduše vypočítat, entalpii, přehřátí, podchlazení aj. vlastnosti chladiva. Pochází z Bochumské Ruhr univerzity.

### 3 Metodika testování

Testování celých klimatizačních systémů se dělí do dvou skupin. Zkoušení celého systému, systémové testování nebo jednotlivých komponentů tzv. komponentní testy. Oba druhy testů mají svoje opodstatnění. Toto bude dále vysvětleno.

#### 3.1 Systémové testy

Systémové testy se provádějí na zařízení nazývajícím se systémový stand. Je podobné kompresorovému standu ovšem je mnohem složitější z hlediska konstrukčního. Na kompresorovém standu je možno řídit otáčky a zdvih kompresoru, zvýšení teploty vzduchu vstupujícího do výparníku a rychlost proudění vzduchu do kondenzátoru a výparníku. Tyto proměnné lze měnit i na systémovém standu, navíc lze měnit teplotu a vlhkost vzduchu výparníku i kondenzátoru. Zařízení disponuje chlazením a topením vzduchu, regulaci vlhkosti a průtoku vzduchu. Tyto parametry jsou pro systémové testování velice důležité. U systémového testování dochází v podstatě k simulaci reálných přírodních podmínek.

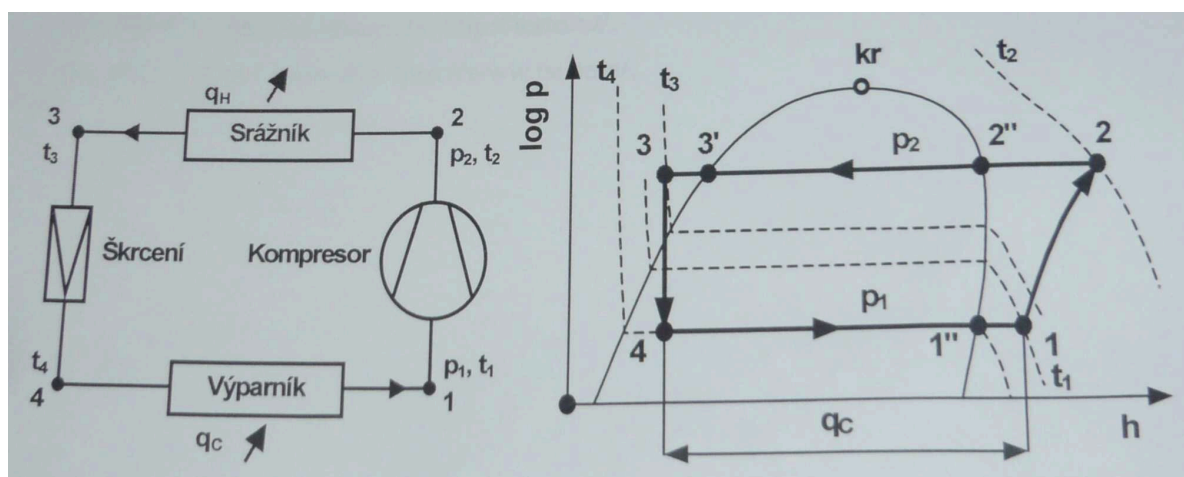
Systémový stand se skládá ze dvou samostatně oddělených klimatických komor, jedna simuluje motorovou a druhá kabinovou část viz.kap. 2.1. V každé lze nastavit nezávisle průtok, teplotu a vlhkost vzduchu vstupujícího do komory.

##### 3.1.1 Stanovení chladicího faktoru klimatizačních okruhů a výkonu

Hlavním testovaným parametrem celého klimatizačního okruhu na systémovém standu je chladicí faktor  $\varepsilon_{chl}$  neboli COP (coefficient of performance).

$$\varepsilon_{chl} = COP = \frac{q_c}{|q_H| - q_c} \quad (3.1)$$

Z rozdílů měrných entalpií u izobarických dějů Obr. 22 2-3 a 4-1 lze v daném diagramu určit předávaná měrná tepla u těchto dějů a z nich vyjádřit chladicí faktor  $\varepsilon_{chl}$ . V rovnici (3.1) představuje  $q_H = h_3 - h_2$  [J.kg<sup>-1</sup>] měrné teplo odváděné z oběhu v kondenzátoru, a to z chladiva nejčastěji do vzduchu a  $q_c = h_1 - h_4$  [J.kg<sup>-1</sup>] je měrné teplo přiváděné do oběhu ve výparníku, a to z ochlazovaného vzduchu do chladiva [Michalica 2008].



Obr. 22 Schéma chladicího zařízení a p-h diagram

Pro zjištění chladicího faktoru okruhu se postupuje následovně. Nastaví se na ovládacím panelu zařízení požadované vstupní vlastnosti vzduchu a otáčky kompresoru. Příklad hodnot nastavení 0. Jedná se o testování klimatizačního okruhu v náročných podmínkách. Hodnoty jsou získány dlouhodobým zkoumáním a testováním klimatizačních okruhů přímo na automobilu za jízdy v různých reálných podmínkách. Tento výzkum je prováděn v sesterském závodě Visteon-Kerpen, Německo.

Tab. 4 Příklad zkušebních podmínek systémového testu

Testovací podmínky	Kondenzátor - vzduch			Výparník - vzduch		
	Relativní vlhkost	Teplota	Hmotnostní průtok	Relativní vlhkost	Teplota	Hmotnostní průtok
Otáčky kompresoru						
2500/min	50%r.v.	45°C	2880kg/h	50%r.v.	43°C	650kg/h

Po nastavení testovacích podmínek, spuštění zařízení se po ustálení přechodových dějů sleduje a zaznamenává absolutní tlak, teplota v bodech zobrazených výše Obr. 22. Pro následný výpočet výkonu výměníků a příkonu kompresoru, také hmotnostní průtok chladiva. Jakmile jsou děje v okruhu ustáleny, zaznamená se určitý časový úsek měření např. 10 minut.

Pro zjištění chladicího faktoru je nutno znát entalpie v jednotlivých bodech měření 1 až 4. Ty se získají buď z p-h diagramu, na základě odečtu teploty a tlaku v jednotlivých bodech (méně přesné), nebo výpočtem např. pomocí softwaru FLUIDCAL. Ten je schopen určit

entalpii po zadání typu chladiva (R134a odpovídá konstantě 70), termodynamické teploty  $T$  [K] a absolutního tlaku  $p$  [MPa]. Výpočtem podle (3.1) je získán chladicí faktor.

Z předchozích hodnot lze určit výpočtem i výkony výměníků a příkon kompresoru. Pro hodnotu měrného tepla kompresoru  $q_K$  je dáno  $q_K = h_2 - h_1$ . Hmotnostní průtok  $\dot{m}$  je uváděn v kg/h.

Výkon výparníku  $Q_C$

$$Q_C = q_C \cdot \frac{\dot{m}}{3,6} \text{ [W]} \quad (3.2)$$

Výkon kondenzátoru  $Q_H$

$$Q_H = q_H \cdot \frac{\dot{m}}{3,6} \text{ [W]} \quad (3.3)$$

Příkon kompresoru  $P_K$

$$P_K = q_K \cdot \frac{\dot{m}}{3,6} \text{ [W]} \quad (3.4)$$

Následně musí platit:

$$Q_H = Q_C + P_K \text{ [W]} \quad (3.5)$$

Předchozí rovnice (3.5) je základním vztahem mezi ději v klimatizačním okruhu a lze ji použít jako ověření pro správnost měření, zda nedošlo k nějakému zkreslení měření veličin.

### 3.2 Komponentní testy

Tyto testy jsou pro vývoj klimatizačních komponentů velice důležité, lze za poměrně příznivou cenu zjistit, zda navržený komponent či jen úprava má očekávané vlastnosti, které předpověděla např. CFD analýza. Na výsledcích těchto testů je postaveno rozhodování, zda se jeho dalším vývojem zabývat a provádět na něm náročnější testy a poté uvolnit do sériové výroby.

Pro následující výklad je nutné vysvětlit níže uvedené pojmy. Pro názorný popis je použit nákres p-h diagramu Obr. 23 .

Saturační teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ] – teplota daná tlakem, při které se medium vyskytuje v rovnováze v kapalně i plynné formě

Saturační tlak [bar] – tlak daný teplotou, při které se medium vyskytuje v rovnováze v kapalně i plynné formě

Přehřátí [K] – rozdíl výparné teploty a saturační teploty  $t_1[\text{K}] - t_1'[\text{K}]$ . Hodnota zaručuje, že medium se vyskytuje pouze v plynném stavu

Podchlazení [K] – rozdíl saturační teploty a teploty kapalného média  $t_3'[\text{K}] - t_3[\text{K}]$ . Medium se vyskytuje pouze v kapalném stavu

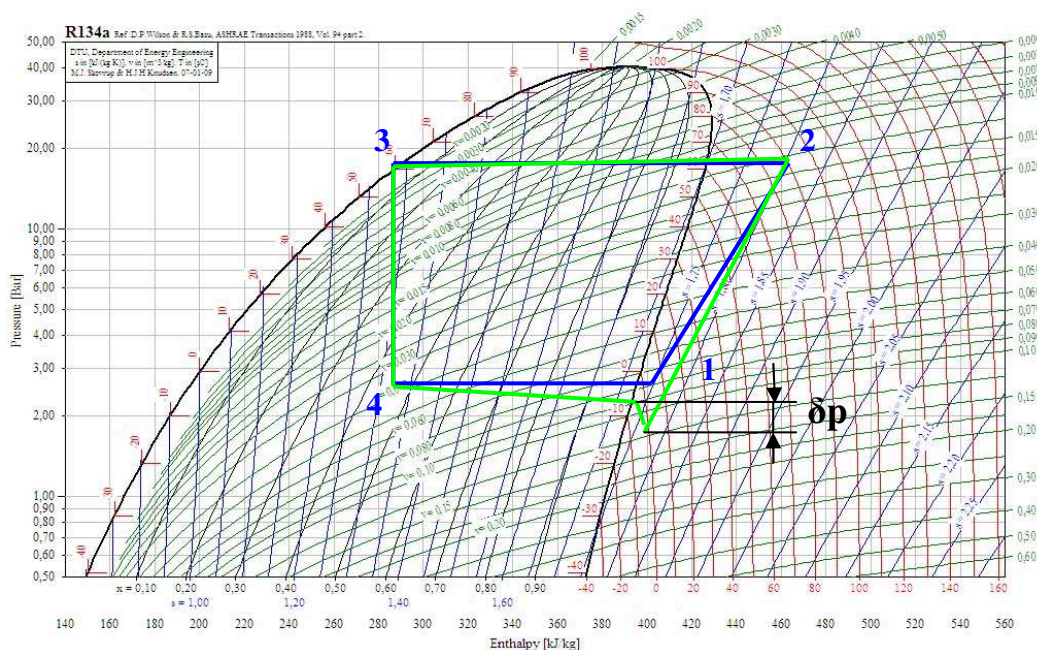
### 3.2.1 Tlaková ztráta

Tlaková ztráta je nežádoucí vlastností každého komponentu v klimatizačním okruhu. Její velikost přímo ovlivňuje chladicí faktor.

Na Obr. 23 lze porovnat ideální klimatizační okruh bez tlakových ztrát(modrá barva) a reálný okruh s tlakovými ztrátami. Jak již bylo zmíněno, tlaková ztráta je spojena se všemi částmi okruhu.

Mezi body 2 – 3 je znázorněna tlaková ztráta kondenzátoru a vysokotlakého vedení. Ztráta na kondenzátoru zastupuje největší podíl a to z důvodu, že se v něm vyskytuje chladivo v podobě horkého plynu. Ve vysokotlakém vedení je chladivo v kapalném stavu a ztráta je zanedbatelná.

Mezi body 4 – 1 je velice zajímavé sledovat průběh tlakové ztráty, a to jak z důvodu tlakové ztráty výparníku tak i samotného nízkotlakého vedení označenou  $\delta p$ . Zde je patrný razantní pokles tlaku mezi výstupem z výparníku a vstupem kompresoru způsobený vlastnostmi nízkotlakého vedení. Tento jev je zcela nežádoucí, byť reálný. To vede k tomu, že je potřeba přivést větší množství energie do kompresoru pro stlačení média a to má negativní vliv na celkovou spotřebu automobilu.



Obr. 23 p-h diagram s vyznačenou tlakovou ztrátou  $\delta p$  projevující se na nízkotlakém vedení

Největší obor zájmu je měření tlakových ztrát výparníku a nízkotlakém vedení, kde se vyskytuje chladivo pouze v plynném stavu, má nejmenší hustotu a největší rychlost. Práce se bude zabývat měřením tlakové ztráty nízkotlakého vedení. Pro zjištění velikosti tlakové ztráty měřením je nezbytné snímat na vstupu do vzorku tyto veličiny: teplotu a absolutní tlak chladicího média, hmotnostní průtok a rozdíl tlaku mezi vstupem a výstupem komponentu.

### Specifikace podmínek měření nízkotlakého vedení

Pro zjištění tlakové ztráty nízkotlakého vedení měřením je nutné dopředu definovat podmínky měření. Ty jsou odvozeny z chování klimatizačního okruhu v provozu a simulují reálné podmínky. Jak je patrné Obr. 23, že pro definici je nutné určit:

- Tlak na vstupu komponentu  $p_{1s}$  – ten je dán provozními podmínkami okruhu, pro testování je třeba vystavit okruh „tvrdším“ testovacím podmínkám. Jestliže se vypařovací tlak pohybuje v provozu okolo 3 – 5 bar, volíme nižší hodnotu 3bar. Ta odpovídá tomu, že okruh pracuje v náročných podmínkách.
- Teplota na vstupu do komponentu  $t_{1s}$ , přehřátí - její hodnota je dána vypařovacím tlakem  $p_1$  a hodnotou přehřátí. Pohybuje se od 3K až do 10K.
- Hmotnostní průtok – většinou se definuje měření tlakové ztráty při dvou až třech hodnotách hmotnostního průtoku (50, 100, 150kg/h)

Vyspecifikované hodnoty je potřeba dosáhnout při každém průtoku. Tyto hodnoty se na kompresorovém standu nastavují změnou otáček kompresoru, teploty a průtoku vzduchu do výparníku a průtoku vzduchu do kondenzátoru. Pro dosažení podmínek měření je předpokladem operátora dobrá znalost dějů a vztahů v klimatizačních okruzích.



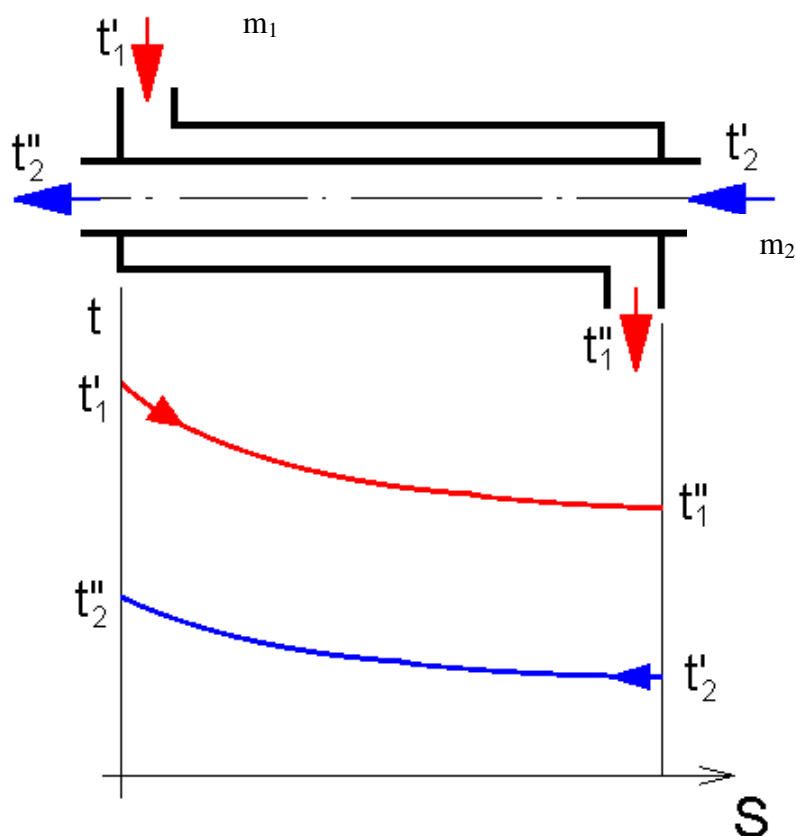
### 3.2.2 Tepelný výkon, termická účinnost IHX výměníku

Tepelný výměník IHX pracuje na obecném principu protiproudého výměníku tepla. IHX výměník je v podstatě trubka v trubce Obr. 24 , koaxiální trubka.



Obr. 24 Průřez IHX výměníku se šesti kanálky [Říha 2008]

Na vnější straně proudí médium o vyšší teplotě v kapalném stavu a uvnitř proudí médium o nižší teplotě v plynném stavu.



Obr. 25 Náskres obecného principu protiproudého výměníku tepla [Termomechanika cit. 2010-12-10]

Teplejší látka předává ve výměníku tepelný výkon:

$$Q_1 = \dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (t_1' - t_1'') \quad [\text{W}] \quad (3.6)$$

kde  $\dot{m}_1$  je hmotnostní průtok teplejší látky,  $c_1$  je měrná tepelná kapacita teplejší látky,  $t_1'$  je teplota teplejší látky na vstupu do výměníku a  $t_1''$  je teplota teplejší látky na výstupu z výměníku [Termomechanika cit. 2010-12-10].

Chladnější látka přijímá ve výměníku tepelný výkon:

$$Q_2 = \dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (t_2'' - t_2') \quad [\text{W}] \quad (3.7)$$

kde  $\dot{m}_2$  je hmotnostní průtok chladnější látky,  $c_2$  je měrná tepelná kapacita chladnější látky,  $t_2'$  je teplota chladnější látky na vstupu do výměníku a  $t_2''$  je teplota chladnější látky na výstupu z výměníku [Termomechanika cit. 2010-12-10].

Pro tepelné výkony sdílené ve výměníku platí:

$$Q_1 = Q_2 \quad (3.8)$$

Termická účinnost je získána podle vztahu:

$$\eta_t = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.9)$$

Výpočet výkonu z rozdílů entalpií  $h$ , získaných měřením:

$$Q_1 = \frac{\dot{m}_1}{3,6} \cdot |\Delta h_{HP}| \quad [\text{W}] \quad (3.10)$$

$$Q_2 = \frac{\dot{m}_2}{3,6} \cdot |\Delta h_{LP}| \quad [\text{W}] \quad (3.11)$$

Z těchto teoretických poznatků se vychází pro určení metodiky a specifikace měření. Pro měření tepelného výkonu, či termické účinnosti je důležité snímat hmotnostní průtok  $\dot{m}$  [kg/h], teplotu  $t$  [°C], absolutní tlak  $p$  [bar] chladiva a také diferenční tlak  $\delta p$  [mbar] (tlakovou ztrátu) mezi vstupem a výstupem výměníku. Termická účinnost se vypočítá podle vztahu (3.9). Pro zjištění výkonu se z výsledných hodnot teploty a tlaku se z termodynamických tabulek chladiva R134a, popř. softwarem FLUIDCAL určí entalpie

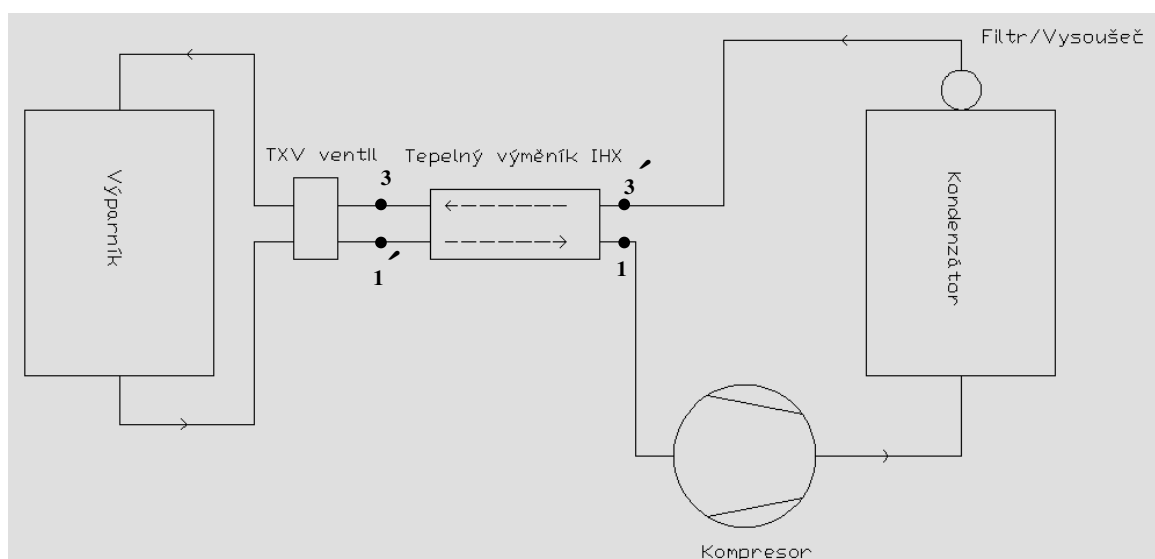
chladicího média v měřících bodech, a poté se určí výpočtem (3.10) a (3.11) tepelné výkony  $Q_1$  a  $Q_2$  jednotlivých částí výměníku.

### Specifikace podmínek měření výkonu a termické účinnosti IHX výměníku

Tento typ testu firma Visteon mimo jiné používá jako srovnávací test při vývoji designů IHX výměníků. Výše zmíněnými výpočty lze pak získat potřebné srovnávací parametry a odpověď, zda navržená designová úprava je vhodná a přináší užitek, či nikoliv. Pro konečné porovnání je nutno brát v potaz jak fyzikální vlastnosti výměníku (výkon, účinnost, tlakovou ztrátu), tak i ekonomické a výrobní aspekty (cena materiálu, výrobitelnost, potřebné technologie).

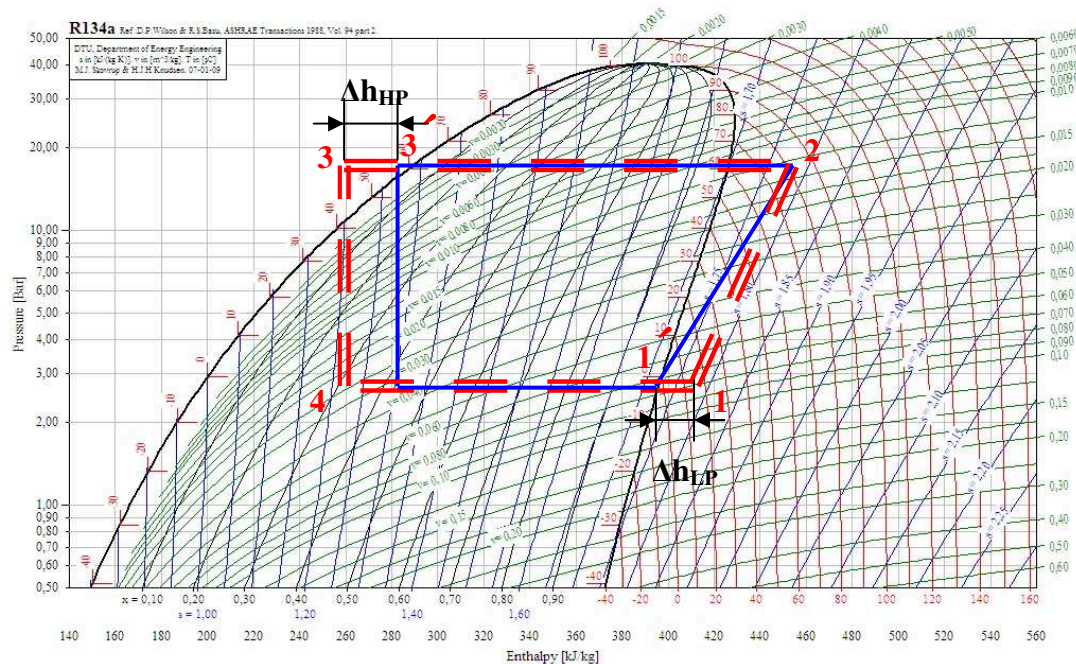
Jak již bylo zmíněno, výkon výměníku se sleduje jak na vysokotlaké (dále HP) tak i na nízkotlaké (dále LP) straně tepelného výměníku. Tyto dva výkony se musí v konečném porovnání podobat. Při měření je dovolena určitá odchylka měření. Záleží na zákaznické specifikaci, či potřebné přesnosti měření. Standardní odchylka měření rovnosti výkonů je do 5%. Pokud je dosaženo této přesnosti opakovaným měřením, měření je prováděno vhodným způsobem.

Pro výkon HP i LP strany je potřeba snímat teplotu, absolutní a diferenční tlak v bodech načrtnutých níže Obr. 26 .



Obr. 26 Náskres umístění měřících bodů

Pro HP stranu je vstup respektive výstup výměníku označen 3' či 3. Pro LP stranu je označen vstup 1' a výstup 1. Tímto označení lze z p-h diagramu Obr. 27 odečíst energii získanou použitím IHX výměníku.



Obr. 27 Měřící body a energetický zisk IHX výměníku

Energetický zisk je označen jako rozdíl entalpií v jednotlivých bodech  $\Delta h_{LP}$  a  $\Delta h_{HP}$ .

#### **Měřící body (ideální okruh)**

**1' vstup LP strany (LP in) a 3' vstup LP strany (HP in)** – hodnoty veličin  $p$  a  $t$  snímaných v tomto bodě určují vlastnosti média vystupujícího z výparníku. Pokud by nebyl zařazen výměník, médium by se už za daných hodnot v kompresoru stlačovalo. Snímané veličiny – absolutní, diferenční tlak a teplota.

**1 výstup LP strany (LP out) a 1 výstup LP strany (HP out)** – hodnoty veličin  $p$  a  $t$  ukazují energetický zisk zařazením výměníku. Snímané veličiny – diferenční tlak a teplota

#### **Požadované hodnoty veličin při měření**

Specifikace měření vychází opět ze zkušeností a poznatků chování klimatizačních okruhů v reálných podmínkách. Požadované hodnoty měřených veličin se proto volí tak, aby odpovídaly podmínkám, ve kterých okruh pracuje nejvíce. V práci se vychází z poznatků získaných firmou Visteon a těmi se bude zabývat.

V tabulce níže jsou vypsány všechny potřebné hodnoty veličin pro měření, vztažené k jednotlivým měřicím bodům. Tyto hodnoty je nutno dodržet a nastavit na zařízení kompresorový stand při třech různých hmotnostních průtocích 100 a 150 kg/h. Neméně důležitým parametrem je koncentrace kompresorového oleje v okruhu. Ta by se měla pohybovat během měření okolo  $5 \pm 1\%$  oleje. Teplota okolního vzduchu kolem výměníku je stanovena na  $60 \pm 5^\circ\text{C}$ . Tato teplota simuluje reálnou teplotu vzduchu v motorové části automobilu.

Tab. 5 Požadované vstupní parametry měření - Visteon

Veličina	LP strana vstup 1' (LP in)	HP strana vstup 3' (HP in)	Povolená tolerance
$t[^\circ\text{C}]$	10,6	55	$\pm 0,25$
$p[\text{bar}]$	3	16,7	$\pm 0,3$
$m[\text{kg/h}]$	100, 150kg/h		$\pm 1$
$t_{\text{okolí}}[^\circ\text{C}]$	60 $^\circ\text{C}$		$\pm 5$

Tyto hodnoty tlaku a teploty odpovídají přehřátí chladiva o 10K při tlaku 3bar a podchlazení chladiva o 5K při tlaku 16,7bar.

Po nastavení těchto hodnot a ustálením přechodových dějů v okruhu se sejme určitý časový úsek dat např. 3 minuty. Z toho se průměrem určí jednotlivé hodnoty v daných měřících bodech a vyhodnotí se vlastnosti IHX výměníku dle výpočtů (3.9), (3.10) a (3.11). Následně se výsledek porovná s předchozími měřeními IHX výměníků, či požadovanými hodnotami zákazníka. Výkon  $Q$  je odvozován z velikosti naměřených veličin na vysokotlaké straně. Vyhodnocení a popis samotného měření bude popsán v praktické části.

## 4 Ověření vlastností klimatizačních dílů měřením

V praktické části se tato práce bude zabývat zjištěním vlastností IHX výměníku na zařízení - kompresorový stand. Tento díl je vybrán z důvodu, že se jedná o nově zařazený komponent do klimatizačního okruhu. Jeho energetický benefit musí být zřejmý, jelikož finanční náklady na jeho výrobu, oproti klasickému okruhu, jsou mnohem vyšší. Energetický zisk bude odvozován z vysokotlaké HP strany.

Pro měření byly vybrány dva vzorky rozdílných designů. Vzorek A představuje výměník, kdy chladná nízkotlaká LP strana je umístěna na vnější straně výměníku, teplá vysokotlaká HP strana je umístěna vně. Vzorek B je jedním z mnoha vývojových variant designu klasického protiproudého výměníku, kdy horká HP strana je umístěna na vnější straně. Firma Visteon musí neustále pracovat na zlepšování vlastností IHX výměníků, a tím být konkurence schopná v oblasti výroby a prodeje klimatizačních komponentů.

Testovacími podmínkami jsou zvoleny ty, které využívá právě Visteon viz. kap. 3. Podle těchto podmínek Tab. 6 testuje IHX výměníky Visteon neustále. Dává mu to možnost sjednotit a porovnat všechny výsledky měření různých designů.

Tab. 6 Požadované vstupní parametry měření - Visteon

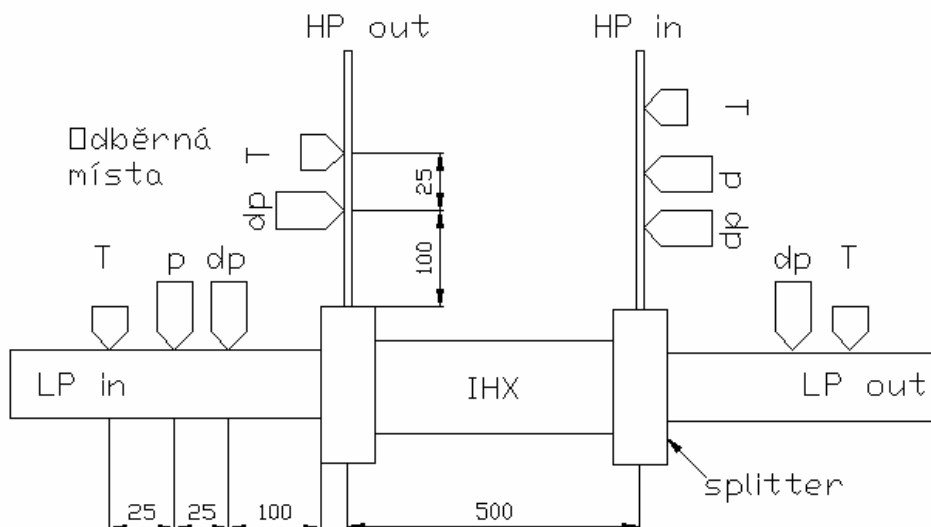
Veličina	LP strana vstup 1' (LP in)	HP strana vstup 3' (HP in)	Povolená tolerance
t[°C]	10,6	55	±0,25
p[bar]	3	16,7	±0,03/±0,3
m[kg/h]	100, 150kg/h		±1
t <sub>okolí</sub> [°C]	60 °C		±5

Výchozími parametry pro zhodnocení funkčnosti dílu a jeho přínosu klimatizačnímu okruhu bude tlaková ztráta a termická účinnost IHX výměníku.

### 4.1 Příprava měření

Příprava měření je nejdůležitější část celého procesu. Kvalita a preciznost jejího provedení se tak odráží na správnosti a časové náročnosti měření (zvýšené náklady střediska na testování). Pro sjednocení podmínek měření byl stanoven rozměrový etalon IHX výměníku Obr. 28 .





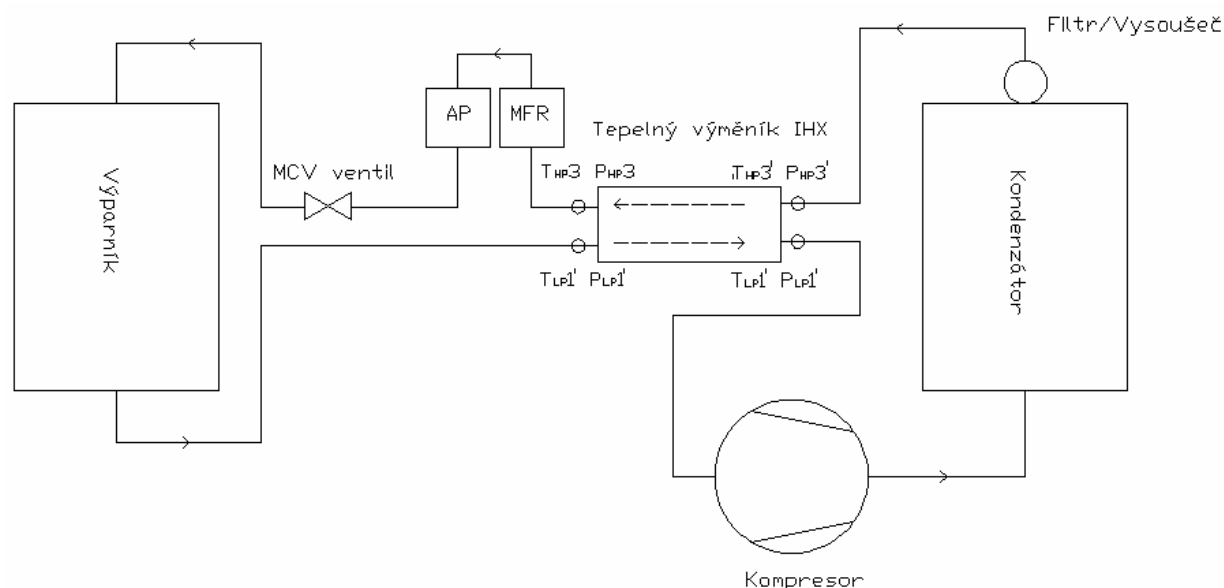
Obr. 28 Náskres rozměrového IHX etalonu

Zkoušený kus je namontován do klimatizačního okruhu v kompresor standu. Náskres této zástavby je zobrazen níže Obr. 29 .

V okruhu jsou použity následující komponenty:

- Kompresor – Sanden SD7C16
- Kondenzátor s integrovaným filtr/vysoušečem – PSA B58
- Tepelný výměník – vzorky A a B
- Hmotnostní průtokoměr (MFR) – Micro Motion CMF025
- Snímač koncentrace oleje (AP) – Anton Paar SPRn
- Ručně stavitelný ventil (MCV) – Swagelok SS-1RS8MM
- HVAC jednotka a výparník – Ford C1

Pro propojení nízkotlakých a výtlačných větví s díly v okruhu se používá standardních vyráběných koncovek, pro propojení vysokotlakých větví se používají šroubení od firmy Swagelok. Při tomto měření (komponentní test) je možno místo TXV ventilu do okruhu zařadit ručně ovládaný ventil. Tím lze lépe regulovat průtok chladiva.



Obr. 29 Schéma zástavby klimatizačního okruhu v testovacím zařízení

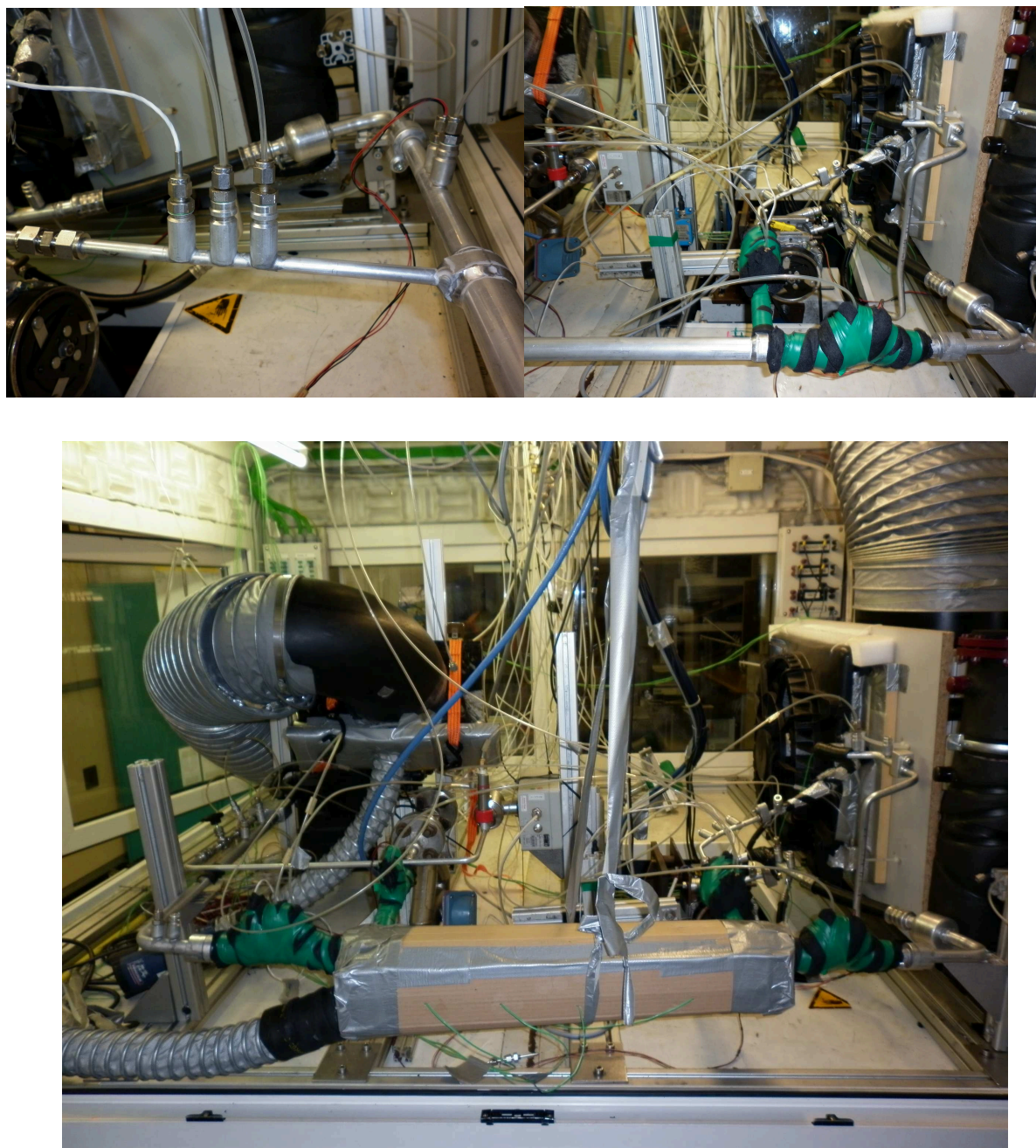
### Umístění snímačů – klimatizační komponenty

Na každý vstup a výstup komponentu (v jeho těsné blízkosti) je vhodné umístit snímač tlaku a teploty. Pro tento typ testu postačí nalepit na povrch vstupní, výstupní trubky dílu termočlánků. Ten je potřeba dostatečně odizolovat od působení teploty okolního vzduchu. Pro umístění snímačů tlaku se využijí plnicí ventily, které se napájí na trubky dílů. Tlak okruhu je do snímačů přiveden přes upravený adapter Swagelok a umělohmotnou hadičku.

### Umístění snímačů – IHX výměník

Na vstupu výměníku je nutno umístit snímače teploty, absolutního a diferenčního tlaku. Na výstup je umístěn snímač teploty a diferenčního tlaku. Vychází se z nákresu rozměrového etalonu IHX výměníku. Snímače diferenčního tlaku jsou umístěny minimálně 6-ti násobek vnitřního průměru trubky od vstupu/výstupu z výparníku, na vstupech je za snímačem diferenčního tlaku umístěn snímač absolutního tlaku a poté jsou umístěny odporové snímače teploty PT100. Ty slouží pro snímání teploty chladiva přímo v trubce.

Velice důležitým parametrem umístění teplotních snímačů je vzdálenost. A to nejen vzdálenost snímače od spliteru výměníku, ale i hloubka ponoření snímače do proudu chladiva. Například nevhodné umístění snímače teploty na výstupu LP strany výměníku v těsné blízkosti spliteru vede k výrazné nerovnosti přenosu energie mezi HP a LP stranou. Což je nežádoucí. Minimální vzdálenost snímačů teploty od spliterů je cca 100mm, umístění snímače do přímého proudu chladiva je cca v 1/3 vnitřního průměru trubky. Všechny odběrné místa na výměníku se izolují od okolí Obr. 30 .



Obr. 30 Příklad umístění a izolace snímačů, celkový pohled

Specifikace říká, že je nutno v okolí výměníku udržovat teplotu cca 60°C. Aby se dosáhlo tohoto požadavku, je z kartonu vyroben rukáv, do kterého se zkoušený kus vsune. Rukáv by měl být za splitry ukončen a zaslepen. Snímače by měly být mimo rukáv. Do jednoho konce je přivedena horkovzdušná pistole, která zajistí požadovanou teplotu okolo výměníku. Vzdálenost hadice horkovzdušné pistole od testovaného vzorku by měla být aspoň 40mm, v žádném případě by se neměli vzájemně dotýkat.

Do sestaveného zkušebního okruhu se nalije potřebné množství PAG oleje. Koncentrace oleje v chladivu musí splňovat požadavky specifikace a pohybuje se, po dosažení testovacích podmínek, v rozmezí 4-6% oleje. Olej si lije přímo do vstupu kompresoru. Okruh se uzavře a

vyzkouší se na těsnost. Doporučuje se testovat těsnost okruhu formou odolnosti proti přetlaku než podtlaku. Podsátím se může zdát okruh těsný. Teprve až po dosažení vyšších provozních tlaků v okruhu během testování, zjistíme, že okruh je netěsný. Měření je pak nestabilní a tím nekorektní. Klesá podchlazení a stoupá přehřátí chladiva.

Pokud je okruh těsný je možno ho naplnit potřebným množstvím chladiva. Jelikož je zástavba pro tento typ vývojových testů shodná, plnicí množství je z dosavadních zkušeností stanoveno na 670g chladiva R134a. Plní se chladivo v kapalně fázi přímo z tlakové láhve, která je umístěna na váze. MCV ventil se otevře do pozice ¼. Vše je připraveno na spuštění testu.

## 4.2 Nastavení podmínek specifikace - měření

Prvním krokem měření, je spuštění napájení kompresorového standu, zařízení pro sběr dat a jeho softwarové podpory. Všechny snímače jsou tímto v provozu a operátor tak může sledovat změny snímaných veličin v okruhu. Na ovládacím zařízení kompresorového standu se nastaví počáteční hodnoty jednotlivých dílů klimatizační jednotky Tab. 7 .

Tab. 7 Výchozí nastavení systému

Komponent	Hodnota
Otáčky kompresoru	1000/min
Napájení ventilátorů kondenzátoru	8V
Napájení ventilátoru HVAC jednotky	11V
Teplota vzduchu do výparníku	40 °C
PWM signál	0%

Spustí se ventilátory na kondenzátoru, ventilátor v HVAC jednotce a topení ve výparníkové vzduchové trati, které ohřívá vzduch přiváděný na výparník(tímto se simuluje přívod horkého vzduchu z kabiny automobilu), elektromotor pohánějící kompresor. V tomto bodě je NUTNÉ zkontrolovat, zda všechny spuštěné prvky fungují správně(otáčky a směr otáčení ventilátorů, funkce topení). Pokud vše funguje správně sepne se spojka kompresoru. V tomto momentu je tlak chladiva v celém systému odpovídající teplotě okolí (např. 23°C odpovídá 6,2Bar). Klimatizační děj se spustí zvyšováním signálu PWM, který nastavuje zdvih pístů kompresoru. Ten začne nasávat chladivo, tlak v sací větvi klesá např. na 4Bar, stlačovat ho, tlak ve výtláčné a vysokotlaké větvi stoupá např. na 9Bar. Okruh již chladí. Při tomto kroku, v podstatě po celou délku měření, se kontroluje přehřátí chladiva vystupujícího z výparníku. Nemělo by klesnout pod 9K(v případě tohoto testu). Pokud by bylo přehřátí nulové, je tady možnost, že by kompresor nasál chladivo v kapalně fázi a došlo by k jeho poškození. Požadovaných testovacích podmínek se dosáhne kombinací změn vstupních

parametrů. Tímto je myšleno změna napájení ventilátorů výparníku a kondenzátoru, výkon topení ve výparníkové trati, ovládání MCV ventilu, změna otáček kompresoru a signálu PWM. Pro úspěšné nastavení testovacích podmínek se předpokládá operátorova dobrá znalost dějů v klimatizačním okruhu. V Tab. 8 je sestavena tabulka s přehledem akčních zásahů a jejich důsledků.

Tab. 8 Soupis chování klimatizačního systému na změny vstupních veličin

Akční zásah - zvýšení	Odezva na akční zásah	Vliv
Otáčky kompresoru Signál PWM	snížení saturačního tlaku	malý
	zvýšení kondenzačního tlaku	malý
	snížení saturačního tlaku	velký
	zvýšení kondenzačního tlaku	velký
Napájení ventilátoru výparníku Teplota vzduchu na výparník	zvýšení přehřátí	velký
	zvýšení saturačního tlaku	malý
	zvýšení kondenzačního tlaku	malý
	snížení kondenzační teploty, zvýšení podchlazení	malý
	zvýšení teploty vzduchu z výparníku	velký
Napájení ventilátoru kondenzátoru	snížení kondenzačního tlaku	velký
	snížení kondenzační teploty, zvýšení podchlazení	velký
	snížení přehřátí	malý
	snížení hmotnostního průtoku	malý
MCV ventil - otevření	zvýšení hmotnostního průtoku	velký
	snížení přehřátí	velký
	zvýšení sacího tlaku	velký
	zvýšení kondenzačního tlaku a teploty	velký
	snížení podchlazení	velký

Tab. 9 Příklad nastavení systému pro měření – hmotnostní průtok 100kg/h a 150kg/h

Komponent	100kg/h	Hodnota
Otáčky kompresoru		1600/min
PWM signál		85%
Napájení ventilátorů kondenzátoru		4,8V
Napájení ventilátoru HVAC jednotky		11,7V
Teplota vzduchu do výparníku		48 °C

Komponent	150kg/h	Hodnota
Otáčky kompresoru		1900/min
PWM signál		95%
Napájení ventilátorů kondenzátoru		8,2V
Napájení ventilátoru HVAC jednotky		12,6V
Teplota vzduchu do výparníku		68 °C

Jakmile jsou dosaženy podmínky specifikace, běh klimatizačního okruhu je ustálený, jsou dodrženy tolerované odchylky, sejme se časový úsek měření. Postačí i tři minuty. Nastupuje fáze vyhodnocení výsledků měření.

### 4.3 Vyhodnocení výsledků měření

Stažená data z dataloggeru v .csv formátu je zapotřebí převést do .xls formátu. MS Excel bude sloužit jako vyhodnocovací software. Pod touto aplikací funguje i software Fluidcal, který se používá pro zjišťování vlastností chladiva R134a v závislosti na podmínkách (teplota, tlak aj.). Pomocí softwaru Fluidcal (popř. z tabulek vlastností chladiva R134A) se získají hodnoty entalpií v měřicích bodech a jejich rozdíly:

$$\Delta h_{HP} = h_{HP3'} - h_{HP3} \text{ [kJ/kg]} \quad (4.1)$$

$$\Delta h_{LP} = h_{LP3} - h_{LP3'} \text{ [kJ/kg]} \quad (4.2)$$

Pro výpočet výkonu IHX výměníku platí vztah 3.10, ten je upraven. Jelikož se jedná o uzavřenou smyčku, hmotnostní průtok je ve všech částech okruhu stejný.

Pro vysokotlakou HP stranu platí:

$$\dot{Q}_{HP} = \frac{\dot{m}}{3,6} \cdot |\Delta h_{HP}| \text{ [W]} \quad (4.3)$$

Pro nízkotlakou LP stranu platí:

$$\dot{Q}_{LP} = \frac{\dot{m}}{3,6} \cdot |\Delta h_{LP}| \text{ [W]} \quad (4.4)$$

Termická účinnost je získána podle vztahu 3.9, ten je pro názornost tohoto měření upraven:

$$\eta_t = \frac{t_{LPout} - t_{LPin}}{t_{HPin} - t_{LPin}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4.5)$$

V tabulce Tab. 10 jsou zobrazeny všechny důležité parametry z měření. Výsledky měření ukazují, že byly dodrženy všechny požadované hodnoty a tolerance sledovaných vstupních veličin.

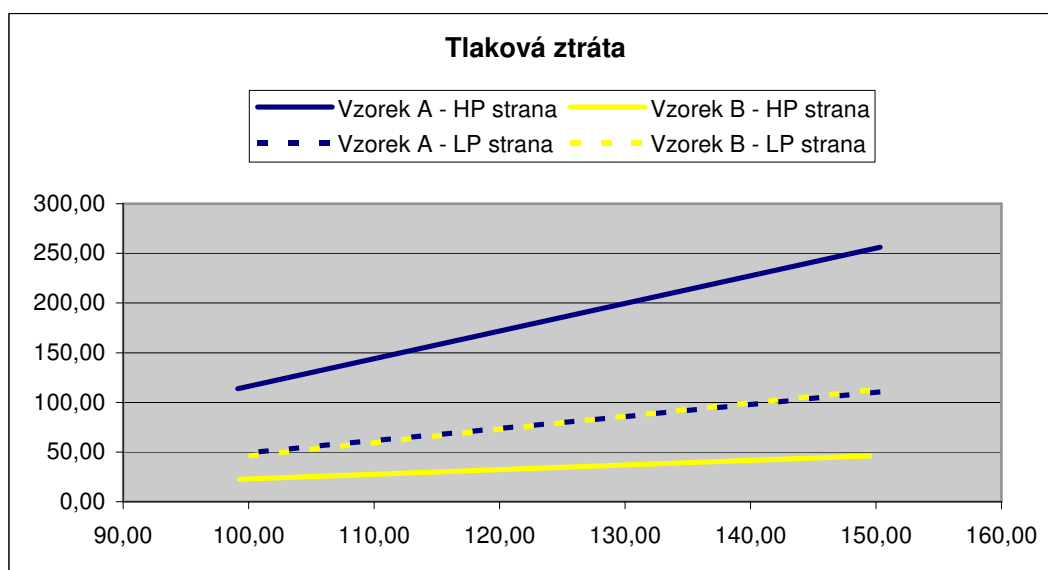


Tab. 10 Souhrn výsledků měření

Výsledky měření				
Vzorek	A	B	A	B
	150kg/h		100kg/h	
P HP in [Bar]	16,89	16,90	16,70	16,80
t HP in [°C]	55,03	55,20	55,16	55,09
t HP out [°C]	43,03	40,65	42,63	39,90
P LP in [Bar]	3,02	3,04	3,03	3,02
t LP in [°C]	10,83	10,91	11,04	10,78
t LP out [°C]	29,03	31,67	30,64	32,10
m [kg/h]	150,32	149,50	99,12	99,24
<b>Δh HP [kJ/kg]</b>	<b>18,58</b>	<b>22,41</b>	<b>19,40</b>	<b>23,36</b>
Δh LP [kJ/kg]	16,67	18,97	17,68	19,21
Δp HP [mBar]	256,27	46,07	113,85	22,40
Δp LP [mBar]	110,47	112,11	48,49	44,99
<b>Q HP [W]</b>	<b>775,68</b>	<b>930,81</b>	<b>534,19</b>	<b>643,95</b>
Q LP [W]	695,98	787,62	486,94	529,56
<b>ηt [%]</b>	<b>41,18</b>	<b>46,86</b>	<b>44,41</b>	<b>49,99</b>
<b>Tepelná bilance</b>				
Δh HPvs.LP [kJ/kg]	1,91	3,45	1,72	4,15
Δh HPvs.LP [%]	10,27	15,38	8,84	17,76

### Tlakové ztráty

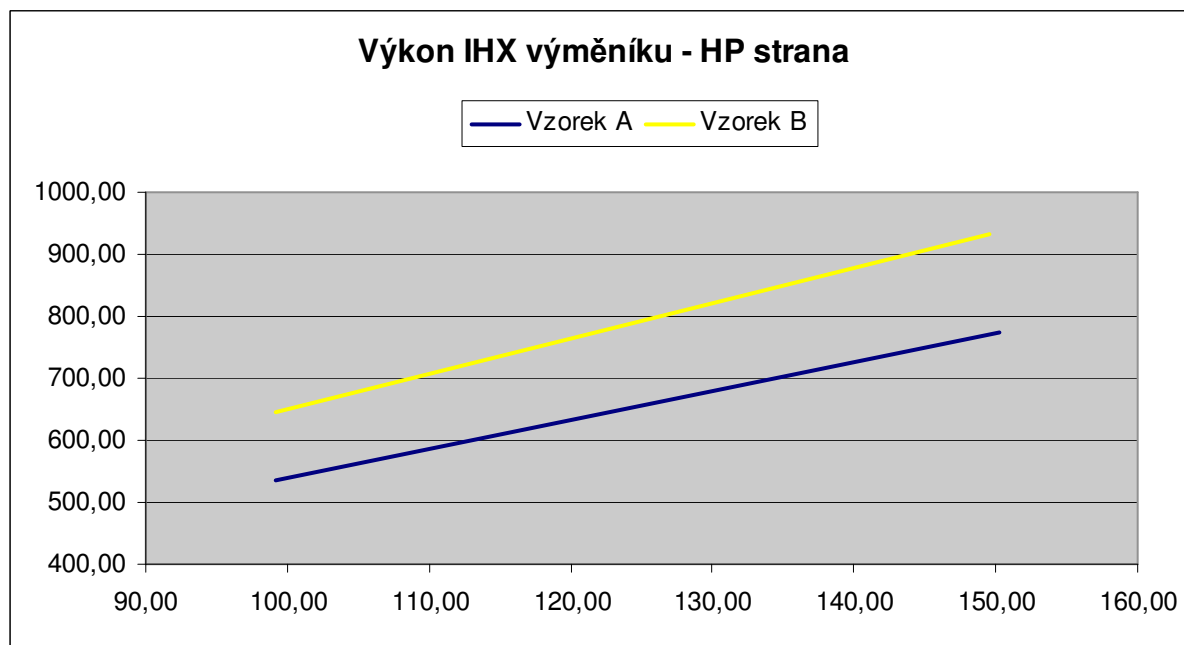
Tlakové ztráty obou výměníků hovoří mírně ve prospěch vzorku B. Důležitý parametr, tlakové ztráty na nízkotlaké LP straně, jsou u obou vzorků téměř shodné. Pohybují se okolo 110mbar při hmotnostním průtoku 150kg/h a okolo 46mbar při 100kg/h. Tlaková ztráta na vysokotlaké HP straně je u vzorku A při 150 a 100kg/h 256 a 113mBar. U vzorku B vychází tlaková ztráta cca 5x nižší, 46mbar při 150kg/h a 22mbar při 100kg/h.



Obr. 31 Výsledky tlakových ztrát vzorků A a B

### Výkon, termická účinnost

Z porovnání rozdílů entalpií vysokotlakých HP stran lze vidět, že vyšší energetický zisk je dosažen u vzorku B. Tento rozdíl se odráží i v uvedeném výkonu  $Q_{HP}$ . V procentuálním vyjádření je to  $16,9 \pm 0,2\%$ . Tato hodnota se prokázala při porovnání entalpií vysokotlakých stran jak u měření při 150kg/h tak i 100kg/h.



Obr. 32 Graf výsledků výkonu IHX výměníků, odvozený z hodnot naměřených na HP straně

Termická účinnost hovoří logicky taky ve prospěch vzorku B. Její hodnota je ovšem nesprávná, nižší. Určuje se zejména z hodnot teplot na LP straně. Tady se ukazuje, že správné měření teploty na nízkotlaké (samozřejmě i na vysokotlaké) straně je naprosto zásadní pro dodržení všech teoretických předpokladů. Z těchto důvodů se odvozuje výkon IHX výměníků z naměřených hodnot na vysokotlaké HP straně. Teplota proudící kapaliny v malém průměru trubky je snáze měřitelná. Toto souvisí i s dalším poznatkem, nerovnosti energetické bilance. Jak je vidno z výsledků všech měření, došlo, oproti teoretickému předpokladu, k nerovnostem mezi rozdíly entalpií na HP a LP stranách. Z toho vyplývá i nerovnost výkonů HP a LP strany. Teorie hovoří o rovnosti mezi těmito stranami, v měření došlo k odchylkám až o 15% mezi stranami.

Tato skutečnost je pro zjišťování vlastností IHX výměníků do budoucna nepřijatelný. Současní i potenciální zákazníci Visteonu požadují ve svých nových specifikacích, mimo jiné, právě rovnost výkonu  $Q$  mezi stranami výměníku do 4-5% a zároveň, minimální termickou účinnost výměníku. Těmito požadavky tak nastavili velké nároky na přesnost měření. Zde se nachází široký prostor pro zlepšení.

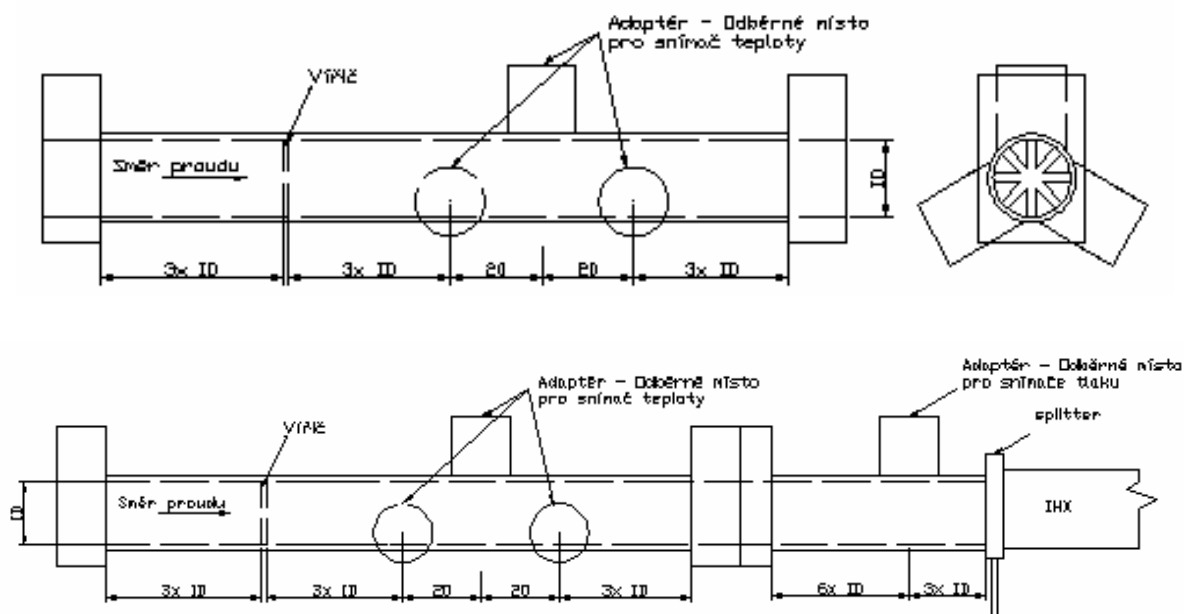
## Závěr měření

Měření ukázalo následující poznatky. Výkon, termická účinnost i tlakové ztráty hovoří ve prospěch vzorku B. Rozdíl mezi entalpiemi HP a LP stran u všech měření poukazuje na nutné zlepšení měření teplot na vstupech a výstupech výměníku. Pro vývoj IHX výměníků vstupují do hry tři parametry. Výkon, tlaková ztráta a výrobní cena. Vzorek A má v porovnání se vzorkem B stejnou tlakovou ztrátu na nízkotlaké straně, poměrně slušný výkon, ale vysokou tlakovou ztrátu na vysokotlaké straně. Vzhledem k tomu, že má nesrovnatelně nižší výrobní náklady, bylo by vhodné zjistit vliv tlakových ztrát vysokotlakého vedení na výkon celého klimatizačního okruhu.

## Navrhované zlepšení měření teploty

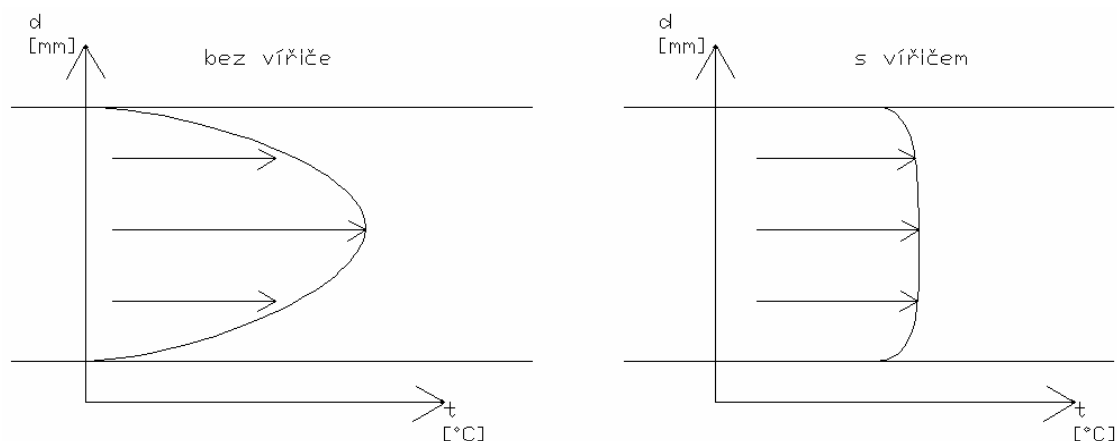
Jak již bylo zmíněno, správné snímání teploty je zcela zásadní pro zjištění vlastností výměníků. Proto jsem navrhl nový systém snímání teplot IHX výměníků. Tento návrh se dotkl i designu rozměrového etalonu IHX výměníku.

Na základě konzultace s ing. Pavlem Křížkem (Visteon, Hluk, Česká republika), kde mi byl představen princip měření teplot na kalorimetrech, jsem navrhl díl, který se bude zařazovat před i za IHX výměník na nízkotlaké straně Obr. 33 .



Obr. 33 Návrh navrhovaného zlepšení měření teploty

Díl je sestaven z víříče (8-mi ramenný prvek), který má za úkol rozbít proud chladiva v plynném stavu a jeho teplotní profil upravit podle Obr. 34 . Za víříčem jsou umístěny tři teplotní snímače PT100. Jsou umístěny v trubce následovně, po směru proudu. První v 1/5, druhý v 1/3 a třetí v 1/2 vnitřního průměru trubky. Jsou vůči sobě natočeny o 120°.



Obr. 34 Teplotní profil proudícího chladiva v trubce

Proběhlo první zkušební měření se zařazeným prvkem a víříčem. Výsledky jsou velice nadějné. Jako vzorek pro ověření byl zvolen právě vzorek B. Měření proběhlo za stejných podmínek jako u předešlých měření, ale pouze při hmotnostním průtoku 150kg/h. Procentuální rozdíl mezi výkony LP a HP stran byl okolo 15%. Po zařazení nového dílu se rozdíl podařil snížit na 4,3%.

Dalším krokem je minimalizace vlivu chyb teplotních snímačů nákupem nových snímačů teploty s přesností  $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$  a zkalibrovat je pouze v používaném rozsahu teplot, aby se dosáhlo co nejvyšší přesnosti snímačů právě v tomto rozsahu. Snímače je nutno do dílu s víříčem umístit natrvalo, nesmí se s nimi dále manipulovat, samozřejmě zaizolovat od okolí.

Jak bylo zmíněno, bylo provedeno pouze první zkušební měření a měly by se provést další ověřovací měření.

Výsledky a poznatky této práce jsou použity v praxi a jsou využívány firmou Visteon, Nový Jičín, Česká republika.

## 5 Hodnocení dosažených výsledků

V první části práce je vytvořen obecný popis automobilové klimatizace, jejích jednotlivých komponentů spolu s jednoduchým vyobrazením. Tento popis funkčních vlastností je velice důležitý pro pochopení chodu celého klimatizačního okruhu. Pro bližší představu jsou v této části zároveň uvedeny některé běžně dosahované teploty a tlaky na různých místech jednotlivých komponent automobilové klimatizace. Ty se mohou lišit v závislosti na okolních podmínkách prostředí. Samostatná část je věnována chladicímu médiu klimatizace, tzv. chladivu. Právě to v současné době prochází mnoha vývojovými změnami ovlivňovanými zejména evropskou legislativou související s jeho zákazem od roku 2017.

Hlavní část práce se zabývá měřením na testovacím zařízení, sloužícím k diagnostice vlastností klimatizačních komponent i celých okruhů. Právě měření IHX (Internal Heat Exchanger) komponentů je hlavním cílem této práce. V první části je vytvořen podrobný popis součástí kompresorového standu tak, aby bylo možné lépe pochopit principy jeho chodu. Ty jsou velice důležité z hlediska jeho ovládání. Změnou jedné veličiny je poměrně snadné vyvést testovaný klimatizační okruh z rovnovážného stavu a zkušenosti ukázaly, že neopatrné zásahy do řídicího systému mohou vést k poměrně nebezpečným situacím. Velká pozornost je v této části věnována popisu hlavních měřených veličin, a pak zejména tlaku a teplotě. Je zde vytvořen popis snímačů teploty a jejich zapojení do zařízení. Druhým typem měřené veličiny je snímání tlaku. Všechny veličiny byly hodnoceny také z hlediska dosahovaných přesností sloužících k určení nejistot měření. Tento údaj je pak dále uváděn ve výsledcích měření pro zákazníky.

Měření koaxiálního vedení IHX tvoří velkou část pracovního využití tohoto zařízení. Jak již bylo uvedeno, tento komponent v poslední době významně změnil podobu klimatizačních systémů. Důvodem je především zvýšení chladicího faktoru (COP). Měření těchto údajů je velmi výrazně sledováno zákazníky a požadavky na výkonové charakteristiky komponentů jsou podrobně popsány v zákaznických specifikacích. Tato práce se zabývá popisem principu měření tohoto výměníku. Pro názornost, je zakreslen vliv IHX výměníku v p-h diagramu. Tento diagram zachycuje jednotlivé stavy chladiva v okruhu a velmi názorně zachycuje směr zlepšení, které bylo dosaženo díky tomuto vnitřnímu výměníku tepla. Velmi výrazným výsledkem práce je stanovení podrobných nastavení měření. Tyto nastavení slouží k tomu, aby bylo možné porovnávat jednotlivé komponenty, popř. změny na jednotlivých komponentech mezi sebou. Toto nastavení bylo odzkoušeno a hodnoty byly přehledně vypsány do tabulky. Dále se také podařilo specifikovat jednotlivé měřicí body, ve kterých je

nutno uskutečnit měření tlaku a teploty na komponentech. Tento postup byl také ověřen a byl vytvořen obecný náčrtek podoby vzorku a připojení v kompresorovém standu. Tyto postupy velmi výrazně usnadnily a zrychlily měření a díky nim bylo také dosaženo snížení ceny měření. Cílem opatření bylo samozřejmě uskutečnění porovnání mezi změnami jednotlivých návrhů.

Pro praktickou část měření jsou vybrány dva různé designy IHX výměníků, měřeními jsou zjištěny jejich vlastnosti a následně vzájemně porovnány. V prvním kroku je popsán postup přípravy měření, kde je kladen zvýšený důraz na umístění snímačů teploty. Jejich nesprávné umístění může velmi negativně ovlivnit měření. Součástí přípravy je také výběr vhodných klimatizačních komponentů, které budou tvořit s IHX výměníkem uzavřený okruh. To se odvíjí od dané specifikace měření. Pro samotné měření a získání požadovaných podmínek specifikace je vytvořen jednoduchý náčrtek, který popisuje vliv jednotlivých akčních zásahů nastavení testovacího zařízení na chod testovaného klimatizačního okruhu. Vyhodnocení měření proběhlo na základě teoretických podkladů uvedených v předcházejících kapitolách.

Z vyhodnocení výsledků, mimo porovnání energetického zisku, tlakové ztráty a termické účinnosti obou IHX výměníků, vyplynula energetická nerovnováha mezi nízkotlakou a vysokotlakou stranou u obou výměníků. Teorie předpokládá rovnost. Toto se může jevit pro firmu Visteon, Česká republika, a jeho zkušebnu, v budoucnosti negativně. V současnosti většina zákazníků trvá na odvození energetického zisku z HP strany. Ovšem nejnovější specifikace zákazníků, požadují energetickou rovnováhu mezi LP a HP stranou, popř. s odchylkou do 5%. U měření uvedených v této práci docházelo k odchylce dokonce až o 15%. Z tohoto důvodu je nutné zlepšit koncept snímání teplot na IHX výměníku. V opačném případě by hrozilo, že by zákazník požadoval provádět měření v laboratořích, které jsou schopny energetické bilance mezi LP a HP stranou dosáhnout. První krok zlepšení je zmíněn v této práci, je zde popsán nový systém snímání teploty zejména na LP straně. První porovnávací měření ukázaly výrazný progres. Je ovšem třeba dalšími měřeními ověřit opakovatelnost a přesnost měření.

Výsledky a poznatky této práce byly použity v praxi a jsou využívány firmou Visteon, Česká republika.



## Seznam použité literatury

- ANTON PAAR EVALUATION UNIT MPDS, *Instruction Manual*. ANTON PAAR GMBH. 2006. 56s.
- BEJČEK, L. & VACULÍK, J. *Měření tlaku* [online]. Automatizace, ročník 49, číslo 1, leden 2006 [cit. 2010-12-10]. Dostupnost www: <URL: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1025>>.
- BOK, J. KUBÁŇ, A. PEKSA, F. *Vakuová technika*. Skriptum SPŠE pomaturitního kurzu Rožnov pod Radhoštěm, 2005.
- COMMISSION REGULATION (EC) No 706/2007 of 21 June 2007, pursuant to Directive 2006/40/EC
- FARANA, R. AJ. *Doporučení pro psaní odborných textů z oblasti automatizace a informatiky*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 80 s. ISBN 978-80-248-1925-9.
- FLUKE 2680A DAQ. *Manuál* [online]. Fluke [cit. 2010-12-11]. Dostupnost www: <URL: <http://www.fluke.com/fluke/usen/data-acquisition-equipment/networked-systems/2680-series.htm?PID=54582>>.
- HLOUŠEK, J. AJ. *Termomechanika*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1992. 297 s. ISBN 80-214-0387-X.
- KAMINSKÝ, JAROSLAV & KOLARČÍK KAMIL. *Kompresory*. *Výukový portál fakulty strojní* [online]. Ostrava: FS VŠB-TUO, 14. října 2010 [cit. 2010-11-30]. Dostupnost www: <URL: <http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/PS/kompresory-skripta.pdf>>.
- KOMPRESSOR – PRÜFSTAND BETREIBSANLEITUNG. Weiss Umwelttechnik GmbH. 1998. 35 s.
- MARK, *Spirálové kompresory*. Dostupnost www: <URL: <http://www.mark-kompresory.cz/kompresory-ecolife-super>>
- MICHALICA, KAREL, ET AL. *Nové trendy v chlazení, klimatizaci a diagnostice automobilů*. Vysoké učení technické v Brně, Energetický ústav, odbor termomechaniky a techniky prostředí, VUT Brno, 2008. 171 s.
- ODPOROVÉ TELPOMĚRY A SESTAVY TERMOČLÁNKŮ. ROSEMOUNT TEMPERATURE. *Manuál* [online]. Rosemount temperature [cit. 2010-11-30]. Dostupnost www: <URL: <http://staging.emersonprocess.com/rosemount/document/man/00809-0301-2654.pdf>>.
- PALEŇČÁR, R. & VDOLEČEK, F. & HALAJ, M. *Nejistoty v měření I: vyjadřování nejistot*. AUTOMA. 7-8/2001, ročník VII, s. 54. ISSN 1210-9592.
- ŘÍHA, J., *Prezentace Základy proudění, chlazení a přenos tepla*. Interní učební pomůcky Visteon - Autopal, s.r.o. [online]. 2008. 53 s.
- SMAR LD 301. *Manuál* [online]. Smar [cit. 2010-12-11]. Dostupnost www: <URL: <http://smar.com>>.
- SMUTNÝ, L. BABIUCH, M. A.J. *Teplovzdušný model TVM (klimatizační jednotka)*. Ostrava: VŠB-TUO, 2005. Výzkumná zpráva GAČR. 31 str.
- T10F - DATA SHEET, INSTALATION. HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH. 1999. 58 s.
- TERMOMECHANIKA, *Protiproudý výměník tepla*. Dostupnost www: <URL: [http://pet.fsid.cvut.cz/tv/tps\\_ex2.pdf](http://pet.fsid.cvut.cz/tv/tps_ex2.pdf)>
- WAECO, *Klimatizace v autoservisní praxi*. 2005. 52 s.